

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B 2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Vliv průměru svařovacího drátu na tvar svarové lázně při svařování metodou MAG

Effect of diameter of welding wire on the shape of the weld pool during welding
by MAG

Tomáš Adolf
KSP – SM – B25

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. - TU v Liberci

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 62

Počet tabulek: 30

Počet obrázků: 58

Datum: 28.5.2010



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Tomáš A D O L F
Studijní program	B2341 Strojírenství
Studijní obor	3911R018 Materiály a technologie
Zaměření	Strojírenská metalurgie

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářská práce na téma:

Vliv průměru svařovacího drátu na tvar svarové lázně při svařování metodou MAG

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Seznamte se teoreticky s metodou svařování MAG (fyzikální podstata procesu, svařovací parametry a jejich vliv na tvar svarové lázně).
2. Prostudujte vliv parametrů svařování na proudění v tavné lázni a vytváření geometrie svaru a zejména vliv průměru svařovacího drátu.
3. Seznamte se s ovládáním systému WeldMonitor pro monitorování parametrů procesu MAG.
4. Navrhněte experimentální program pro porovnání tvarů svarů provedených různými průměry svařovacího drátu.
5. Realizujte experimentální program s využitím monitorování procesu, měření a vyhodnocení teplotních polí.
6. Vyhodnoťte experimentální program, výsledky zpracujte.
7. Zhodnoťte použitou metodiku a optimalizujte proces s ohledem na průměr svařovacího drátu.

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI FAKULTA STROJNÍ

Katedra strojírenské technologie
Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program: B2341 – Strojírenství

Student: Tomáš Adolf

Téma práce: Vliv průměru drátu na tvar svarové lázně při svařování metodou MAG

Effect of diameter of welding wire on the shape of the weld pool during welding by MAG

Číslo BP: KSP – SM – B25

Vedoucí BP: Ing. Jaromír Moravec, Ph.D. - TU v Liberci

Abstrakt:

Tato bakalářská práce řeší vliv průměru svařovacího drátu na tvar svarové lázně při svařování metodou MAG. Práce je rozdělena do dvou částí teoretické a experimentální. V teoretické části je popsán princip obloukového svařování, se zaměřením na metodu MAG a dále jsou zde popsány vlivy svařovacích parametrů na geometrii svarové lázně. Cílem experimentální části bylo zjištění rozdílu ve svarové geometrii při použití různých průměrů svařovacích drátů. Na základě předchozích zkušeností při svařování s průměrem drátu 1,2 mm byl sestaven plán experimentů. Získané svarové geometrie byly rozměrově vyhodnoceny a došlo k jejich vzájemnému porovnání a zpracování výsledků. Vyhodnocené výsledky jsou zároveň cílem této bakalářské práce.

Abstract:

This bachelor thesis is concerned with the welding wire diameter influence on the welding pool shape when using the MAG method. The bachelor thesis is divided into two parts: theoretical and experimental. The theoretical part explains the principle of arc welding with the focus on MAG method and welding parameters effects on welding pool geometry. The aim of the experimental part was to identify the difference in welding geometry when using welding wires of different diameters. The plan of experiments was elaborated based on the previous knowledge of welding using the wire of 1,2mm diameter. Obtained weld geometries were analyzed in terms of their sizes, mutually compared and the results were processed. Those evaluated results are at the same time the aim of this bachelor thesis.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 28. května 2010

.....

Tomáš Adolf

Krátká ul. 640

468 61 Desná v Jizerských horách

Poděkování

Mé hlavní poděkování patří Ing. Jaromíru Moravcovi, PhD za trpělivé vedení a množství praktických rad.

OBSAH

1	ÚVOD
2	TEORETICKÁ ČÁST
2.1	Elektrický oblouk
2.1.1	Statická charakteristika obloukové svářečky
2.2	Teorie svařování MAG
2.2.1	Charakteristika a rozsah použití svařovací metody 135 MAG
2.2.2	Podavače drátu
2.2.3	Svařovací hořáky
2.2.4	Způsoby přenosu kovu v oblouku
2.2.5	Ochranné plyny.
2.2.6	Svařovací dráty
2.3	Vlivy parametrů svařování na geometrii svarové lázně
2.3.1	Vliv průměru svařovacího drátu
2.3.2	Vliv ochranného plynu
2.3.3	Vliv velikosti svařovacího proudu
2.3.4	Svařovací napětí
2.3.5	Výlet elektrody
2.3.6	Rychlost svařování
2.4	Systém Weld Monitor
2.4.1	Weld Monitor hardware
2.4.2	Weld monitor software
3	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST
3.1	Cíle experimentální části
3.2	Zařízení pro splnění cílů experimentální části
3.2.1	Laboratoř svařování
3.2.1.1	Svařovací zdroj Migatronic BDH 550 PulsSyn
3.2.1.2	Přípravek
3.2.1.3	Monitorování svařovacích parametrů systémem Weld Monitor
3.2.2	Laboratoř dělení materiálu
3.2.3	Metalografická laboratoř
3.2.3.1	Rozbrušovací pila Delta AbrasiMet
3.2.3.2	Bruska a leštička Phoenix 400
3.2.3.3	Optický mikroskop Neophot 21

- 3.3 Postup experimentu
 - 3.3.1 Příprava vzorku
 - 3.3.2 Svaření vzorků podle plánu experimentů.
 - 3.3.2.1 Ochranný plyn
 - 3.3.2.2 Přídavný drát
 - 3.3.3 Monitorizace svařovacích parametrů
 - 3.3.4 Metalografické zpracování a geometrické vyhodnocení
 - 3.3.5 Geometrické vyhodnocení svarové lázně
 - 3.3.6 Příklad postupu vyhodnocení vzorku S5c044
 - 3.3.7 Příklad postupu vyhodnocení vzorků S5c041 a S5c006
- 3.4 Geometrické vyhodnocení experimentální části
- 4 ZÁVĚR
- 5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY
- 6 PŘÍLOHY

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

MAG, MIG	- svařování drátem v ochranném plynu	
I	- svařovací proud	[A]
U	- svařovací napětí	[V]
L	- vzdálenost kontaktní špičky, délka svarové housenky	[mm]
d	- průměr elektrody	[mm]
t	- čas	[s]
v	- rychlost svařování	[ms ⁻¹]
w	- šířka housenky	[mm]
p	- převýšení svaru	[mm]
c	- odvěsna svaru	[mm]
b	- odvěsna svaru	[mm]
e	- výška svaru	[mm]
P _c	- celková plocha svaru	[m ²]
P _n	- plocha návaru	[m ²]
P _Δ	- nosná plocha svaru	[m ²]
l	- celková délka svarové lázně	[mm]
U ₀	- napětí naprázdno	[V]
U _p	- pracovní napětí	[V]
I _p	- pracovní proud	[A]
I _{zkrat}	- zkratový proud	[A]
y	- šířka řezu	[mm]
Q	- vnesené teplo	[kJ]
v _{max}	- nosná velikost svaru	[mm]
z _{max}	- skutečný závar	[mm]

1 ÚVOD

Od počátku svařování, tj. od roku 1849, kdy bylo patentováno svařování elektrickým obloukem ve Velké Británii, se sledovalo, jak zlepšit ochranu svarové lázně proti negativním účinkům okolní atmosféry. Svařování v ochranných atmosférách se vyvíjelo v USA od roku 1927, ale technické prostředky nebyly tolik rozvinuté a jen zřídka docházelo k využití. Významný rozvoj těchto metod se datuje od druhé světové války. S použitím argonu a helia se značně eliminovaly nepříznivé účinky atmosféry. Do té doby docházelo k velkým výkyvům kvality svařovaných spojů.

V současné době mají tyto metody dominantní postavení v celém odvětví svařování. Obrovský rozmach zažívají v Japonsku. Mají široké uplatnění v případech, kde se klade velký důraz na rychlost, operativnost, výkon tavení, dostupnost a ovladatelnost. Tyto metody jsou automatizované, levné, produktivní a svary mají dobrou pevnost.

Metoda MAG je svařování v aktivní atmosféře ochranného plynu, kde je jako zdroj tepla využíván elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a základním materiálem. Ochranný plyn zabezpečuje ochranu svarové lázně, konce elektrody a části základního materiálu. Jako přídavné materiály se používají drátové nebo trubičkové elektrody vhodného chemického složení a průměru. Na výslednou geometrii svarové lázně má vliv mnoho činitelů. Volba průměru přídavného drátu, druh aktivní ochranné atmosféry, velikost svařovacího proudu a napětí, výlet elektrody, rychlost svařování, polarita atd.

Vývoj základních komponentů zdroj-drát-plyn nám stále ukazuje, že nám má tato metoda i nadále co nabídnout. Je schopna se dál vyvíjet ve své základní dostupné variantě. Do budoucna bude kladena větší pozornost na automatizaci svařování a kontroly svarových spojů, nedestruktivní zkoušky a především na ochranu životního prostředí.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Elektrický oblouk

Elektrický oblouk je intenzivně zářící a zřetelně ohraničený elektrický výboj kruhového průřezu. Pro svoji vysokou teplotu (cca 6 000 °C) se používá jako zdroj tepla pro svařování. Z katody jsou emitovány elektrony, které jsou elektrickým polem urychlovány směrem k anodě. [6]

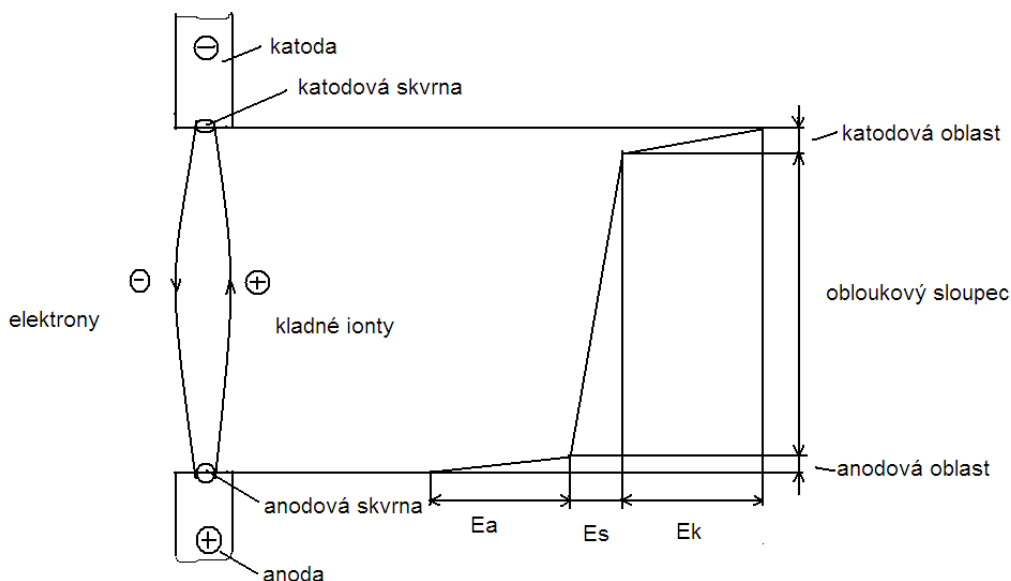
V obloukovém sloupci dochází k ionizaci plynu. Ionty se pohybují mezi elektrodami a přenášejí elektrický proud. Elektrický oblouk může být napájen jak stejnosměrným, tak i střídavým proudem. Při střídavém proudu hoří oblouk méně stabilně a to díky změně polarity, která se děje 100x za sekundu.

Při svařování vzniká elektrický oblouk obvykle mezi elektrodou a základním materiálem. Jeho výkon, geometrii a teplotu je možno regulovat podle technologických požadavků a v širokých mezích měnit.[4]

Na obrázku 2.1. je schematicky znázorněna struktura elektrického oblouku.

Elektrický oblouk se skládá z:

- katodové oblasti
- anodové oblasti
- obloukový sloupec



Obr. 2.1 Struktura elektrického oblouku[6]

Ea...úbytek napětí v anodové oblasti (6-8V)

Es...úbytek napětí v obloukovém sloupci

Ek...úbytek napětí v katodové oblasti (10-16V)

2.1.1 Statická charakteristika obloukové svářečky

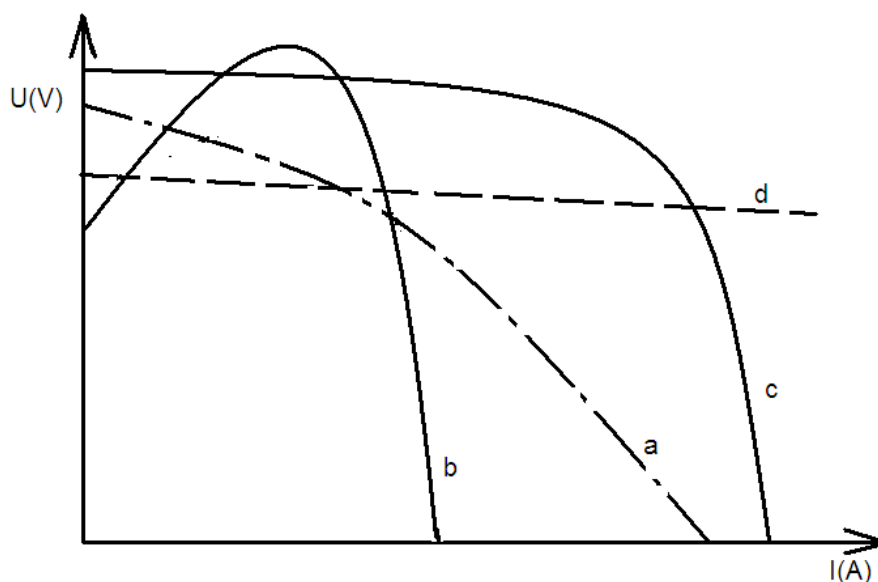
Vyjadřuje závislost výstupního napětí na svařovacím proudu v ustáleném stavu při určitém nastavení regulátoru svařovacího proudu. [6]

Svářečky vykazují celou řadu statických charakteristik omezených regulačním rozsahem. Při ručním svařování zabezpečujeme regulaci napětí oblouku tak, že usilujeme o udržení konstantní délky oblouku.

Podle průběhu statické charakteristiky rozdělujeme svářečky:

- a) s konstantním výkonem-polostřmá statická charakteristika (používá se pro ruční svařování a svařování pod tavidlem)
- b, c) s konstantním proudem-strmá statická charakteristika (používá se pro ruční svařování)
- d) s konstantním napětím (plochá statická charakteristika (tvrdá))

Jednotlivé průběhy jsou znázorněny na obr. 2.2.



Obr. 2.2. Průběhy statických charakteristik[6]

2.2 Teorie svařování MAG

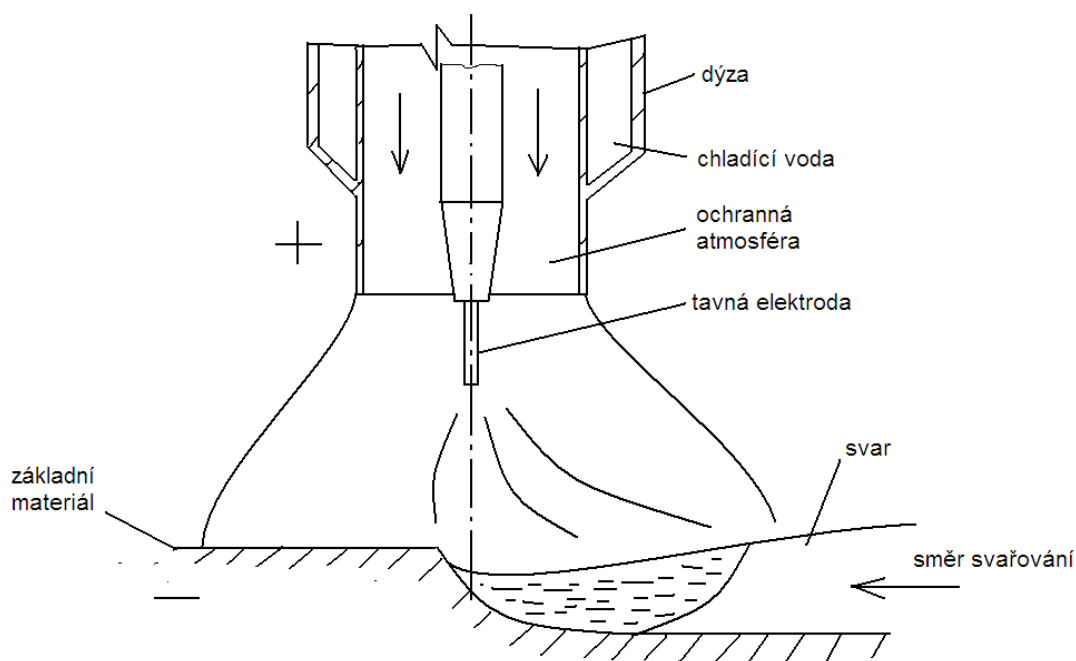
Svařování MAG patří mezi technologie tavného svařování. Místním natavením svarových ploch základního materiálu a odtavením elektrody vzniká svarová lázeň, která následně tuhne a vytváří požadovanou fyzikální vazbu spojovaných materiálů. Zdrojem tepla je elektrický oblouk, který hoří mezi koncem tavní se elektrody a základním materiálem.[8]

Celý tento proces se odvíjí v ochranné aktivní atmosféře. Svařuje se stejnosměrným proudem při kladné polaritě elektrody.

Metoda má široké uplatnění v případech, kde se klade důraz na velkou rychlost svařování, velký odtavovací výkon a operativnost. [7]

Mezi největší výhody lze zařadit nízkou cenu ochranného plynu, čistotu pracovního prostředí, velkou odtavovací rychlost elektrody, vysokou produktivitu. Svařovací proces je nepřerušovaný, s dobrou viditelností tavné lázně, nižšími hodnotami vnitřního pnutí v průběhu svařování i chladnutí, s možností svařovat ve všech polohách atd.

Při všech nesporných výhodách, které nabízí MAG má i své nevýhody jako je možnost vzniku studených spojů, určitý rozstřík kovu, vyhořívání některých legur jako molybden či chrom, nutnosti bezpečnostní ochrany proti zvýšené intenzitě záření atd. Na obrázku 2.5. je schematicky znázorněno svařování metodou MAG.

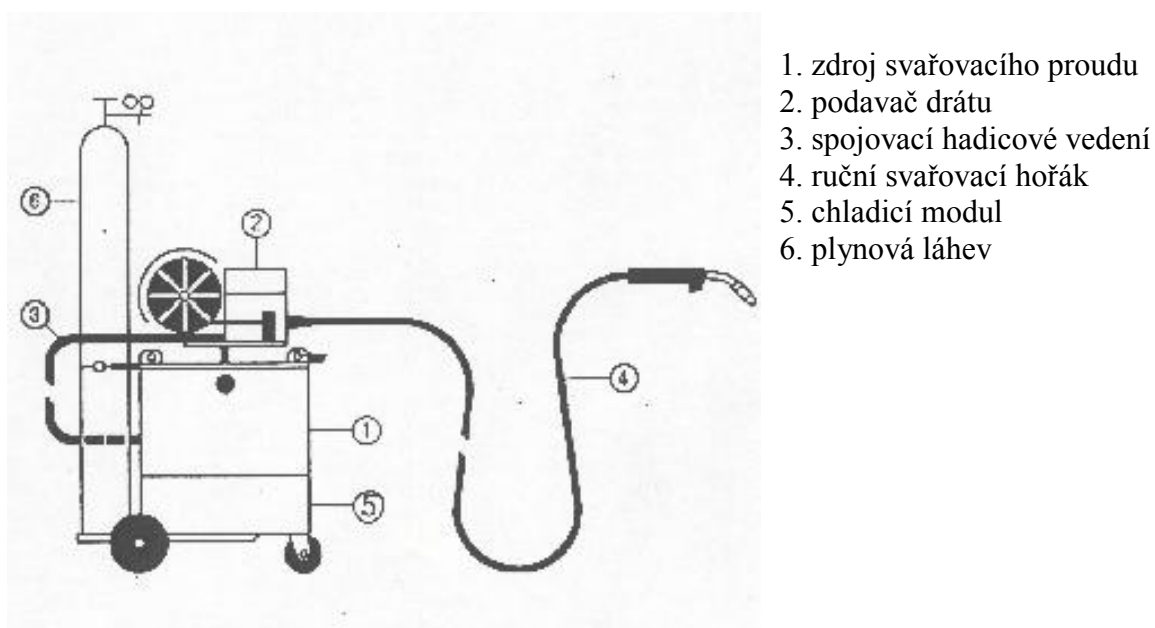


Obr. 2.5. Svařování metodou MAG

2.2.1 Charakteristika a rozsah použití svařovací metody 135 MAG

Metoda svařování MAG je vhodná dle normy ČSN EN ISO 6947 pro svařování ve všech polohách. Lze ji využít pro široké rozmezí tloušťek materiálu (0,8 – 40 mm). Metoda MAG je vhodná především pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Při svařování je využíván stejnosměrný proud u zdroje s plochou voltampérovou charakteristikou. Pro tuto technologii je charakteristická proudová hustota 100 až 400 [A*mm²]. Vysoká proudová hustota je příčinou velké rychlosti odtavování přídavného materiálu, velké svařovací rychlosti a hlubokého závaru. Jako přídavný materiál se používá drát o průměru 0.8 až 1.6 mm [5].

Na obrázku 2.6. je schéma zařízení pro svařování MAG



Obr. 2.6. Schéma zařízení pro svařování MAG [13]

2.2.2 Podavače drátu

Podavače drátu slouží k plynulé regulaci podávání drátu do pracovního místa. Je to zásadní podmínka pro dosažení stabilního procesu a přenosu kovu do svarové lázně.

V praxi se používají 2. a 4. kladkové posuvové systémy. Předností 4. kladkových systémů je možnost bezproblémového posuvu i obtížně transportovatelných drátů. Rychlost posuvu drátu by měla být nastavitelná v rozmezí od 1 do cca 22 m/min. (U přístrojů určených pro vysokovýkonné svařování MAG by měla posuvová rychlost dosahovat až 30 m/min.).[12]
Na obrázku 2.7. je zařízení pro podávání drátu.



Obr. 2.7. Podavač drátů[12]

Na bezproblémový a rovnoměrný posuv drátu mají vliv různé prvky svařovacího zařízení:

- Přítlačný tlak podávacích kladek je zapotřebí zvolit tak, aby nedocházelo k deformaci drátové elektrody, a aby byl přitom zajištěn spolehlivý transport drátu.
- Je nutno používat odpovídající typ podávacích kladek
- Různé druhy přídavných materiálů vyžadují použití podávacích kladek s odpovídajícím tvarem drážky[12]

2.2.3 Svařovací hořáky

Svařovací hořáky pro MAG zabezpečují přívod svařovacího proudu na tavící se elektrodu pomocí kontaktní špičky, usměrňuje ochranný plyn do místa svaru, usměrňuje drát do místa oblouku a zajišťuje přísun chladicí kapaliny do koncovky a dýzy. Svařovací hořáky se dělí podle použití na strojní a ruční nebo podle velikosti proudu na hořáky chlazené vodou (nad 200A) nebo plynem (do 200A). Teplotně nejvíce namáhány jsou kontaktní kovová špička a dýza ochranného plynu. Špička se navrhuje podle průměru použitého svařovacího drátu. Dýza podle velikosti svařovacího proudu a tepelné vodivosti základního materiálu.[8]

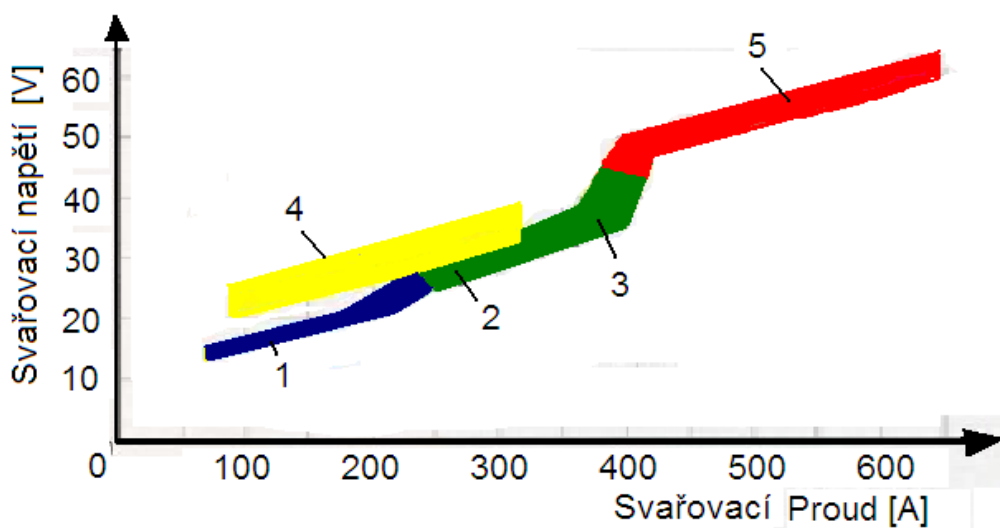
Svařovací hořák by měl mít malou hmotnost, dobré parametry pro proudění ochranné atmosféry, jednoduchou a vyměnitelnou dýzu, odolnost proti vysoké teplotě, pádu, nárazu atd.

2.2.4 Způsoby přenosu kovu v oblouku

Přenos kovu znamená způsob natavování konce přídavného materiálu obloukem, pohyb oddělených kapek tekutého kovu od drátu v oblouku a jejich dokonalé splnutí se svarovou lázní. [8]

Přenos roztaveného svařovacího drátu při svařování CO_2 se děje ve formě kapek. Jevy provázející přenášení roztaveného kovu při použití metody MAG jsou téměř výlučně řízeny elektromagnetickými silami. Kapky kovu jsou při přenosu přenášeny rychlostí cca 100 m.s^{-1} . Způsob přenosu materiálu obloukem ovlivňuje průběh fyzikálně metalurgických reakcí i celou efektivnost svařování. [5]

Na obrázku 2.8. a 2.9. jsou znázorněny druhy přenosu kovu.



Obr. 2.8 Hodnoty přenosu kovu v oblouku [15]

1. Krátký oblouk se zkratovým přenosem kovu

Kapkový přenos při nižších proudových hustotách.

Rozsahy svařovacích parametrů: $I=60-180\text{ A}$

$U=14-22$

1.



2. Dlouhý přechodový oblouk s nepravidelnými zkraty

Oblast se nehodí pro svařování. Oblouk je nestabilní.

Rozsahy svařovacích parametrů: $I=190-300\text{ A}$

$U=22-28\text{ V}$

2.



3. Oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem kovu

Rozsahy svařovacích parametrů: $I=200-500\text{ A}$

$U=28-40\text{ V}$

3.



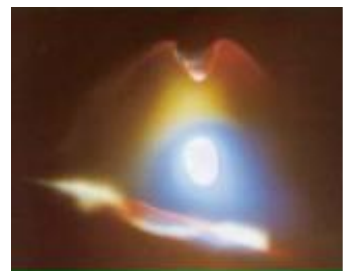
4. Impulzní bezzkratový oblouk

Vzniká při něm sprchový přenos.

Rozsahy svařovacích parametrů: $I=80-310\text{ A}$

$U=20-50\text{ V}$

4.



5. Rotující oblouk s bezzkratovým přenosem kovu

Nárůstem intenzity napětí se proud taveniny na konci drátu zužuje do tenkého proudu, který působením elektromagnetického pole rotuje a vytváří širokou tavnou lázeň [14]

Rozsahy svařovacích parametrů: $I=450-650\text{ A}$

$U=50-65\text{ V}$

5.



Obr. 2.9. Přenosy kovu v oblouku
[15]

2.2.5 Ochranné plyny.

Správná volba ochranného plynu pro procesy svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře může velice ovlivnit rychlost svařování, kvalitu svaru i množství přeneseného materiálu pro daný svar. Z toho důvodu je snahou najít co nejvhodnější ochranný plyn nebo směs plynů pro jednotlivé kombinace procesů a materiálů.

Ochranný plyn svým složením, způsobem přívodu do svaru a množstvím má vliv na:

- vytvoření ionizovaného prostředí pro dobrý start a hoření oblouku
- ochranu oblouku proti zamezení přístupu a ovlivnění okolní atmosféry a odvod spalin
- metalurgické děje při tvoření kapky, přenosu kapky přes oblouk a ve svarové lázni
- síly působící v oblouku, tvar a rozměr oblouku
- způsob přenosu kovu v oblouku, tvar a rozměr kapiček a jejich rychlost přenášení přes oblouk
- tvar a rozměr průřezu svaru
- drsnotu povrchu svaru, návaru a jeho okolí
- kvalitu, celistvost a mechanické vlastnosti svarového kovu

V současnosti se používají jednosložkové nebo vícesložkové (směsi) plyny. Dříve se používaly jen jednosložkové plyny. Hlavně ekonomicky výhodný CO_2 . Při volbě ochranného plynu rozhodují vedle sebe ekonomické a technologické činitele. [7]

2.2.6 Svařovací dráty

Dráty pro svařování v aktivním plynu se přizpůsobují svým složením použitému plynu.

Na stabilitu svařovacího procesu má nejen vliv chemické složení drátu, ale i jeho povrchová úprava. Povrch musí být úplně čistý, bez koroze a mastnoty. Jakékoliv znečištění má za následek nestabilitu svařovacího procesu. [3]

Nejčastěji používaný plyn CO_2 se při vysoké teplotě rozkládá na kyslík a oxid uhelnatý. Následkem toho nám kyslík reaguje s povrhem kovu a dochází tím k pórovitosti svaru. Aby se tomuto jevu zabránilo je třeba kyslík vázat. Tuto vazbu dosahujeme pomocí legujících prvků v přídatném materiálu, které mají schopnost vázat se s kyslíkem, jako jsou např. křemík, mangan, hliník, titan, zirkon atd.

2.3 Vlivy parametrů svařování na geometrii svarové lázně

Na průběh svařovacího procesu a vytváření geometrie svaru má u metody svařování MAG vliv celá řada proměnných činitelů.

Základní parametry a podmínky svařování MAG tvoří soubor činitelů, aktivně působících na tvar a rozměry svarů. Proto je třeba navrhnout tak, aby výstupem svařování byly spoje požadovaného tvaru a rozměru. [7]

Základní parametry a podmínky svařování jsou:

- svařovací proud
- napětí na oblouku
- rychlost svařování
- druh a průměr drátu tavicí se elektrody
- polarita
- výlet drátu
- sklon drátu vůči povrchu svařovaného materiálu
- druh a množství ochranného plynu
- tvar a rozměry svarových ploch
- druh přenosu kovu v oblouku
- teplota předehřevu základního materiálu
- poloha svařování [7]

2.3.1 Vliv průměru svařovacího drátu

Velikost průměru svařovacího drátu volíme podle tloušťky základního materiálu, druhu prováděného svarového spoje, poloze svařování a podle požadovaného výkonu odtavení. Nejpoužívanější průměry svařovacích drátů jsou: 0,8, 1,0, 1,2, 1,4, 1,6. [6]

S rostoucí tloušťkou materiálu se zvětšuje i průměr svařovacího drátu. Malý průměr drátu nám zajistí velký odtavovací výkon. Při provádění svarů nad hlavou nebo ve svislých polohách je nutné použít dráty menších průměrů. Se změnou průměru použitého drátu se mění proudová hustota drátu a tím i rozměr a tvar svaru. Proudová hustota se vyjadřuje jako proudové zatížení drátu s ohledem na jeho průřez. Z toho plyne, že s rostoucím průměrem drátu klesá proudová hustota. A s klesající proudovou hustotou nám klesá odtavovací výkon drátu, snižuje se hloubka závaru a zvětšuje se šířka svarové lázně.

Proudová hustota má vliv i na způsob přenosu kovu z oblouku. Zkratový přenos se realizuje při malé proudové hustotě, menší než je mezní proudová hustota. Bezzkratový přenos se naopak realizuje při velké proudové hustotě, která je větší než mezní proudová

hustota. Dráty menších průměrů (0,8-1,0) jsou určeny pro malé proudy. Zabezpečují stabilní proces. [8]

Čím větší je průměr drátu, tím se zvětšuje přesnost přívodu drátu do místa svaru a snižují se výkyvy drátu. Dále klesá hloubka závaru.

2.3.2 Vliv ochranného plynu

Při svařování MAG se používají tzv. aktivní plyny např. oxid uhličitý, směsi argonu s oxidem uhličitým, kyslíkem nebo dalšími plyny.

Na volbě vhodného plynu závisí zejména hloubka závaru, šířka svaru, mechanické vlastnosti, metalurgická struktura svaru, rozstřík svarového kovu atd. To vše má v souhrnu vliv na ekonomiku svařování. [1]

Ochranné plyny zabezpečují ochranu svarové lázně, konce tavící se elektrody a vysoko ohřátého materiálu před negativním vlivem okolní atmosféry. Plní ale i další funkce jako jsou stabilizace oblouku, zlepšuje přenos kovu v oblouku a také zlepšuje vznik svarové housenky. Důležitým prvkem ovlivňující správnost svařovacího procesu a dosažení zkvalitnění vzhledem ke svarovému spoji je zajištění správného množství a čistoty ochranného plynu. V tabulce 2.1. je doporučené dávkování CO₂ v závislosti na průměru drátu.

Tab. 2.1. Doporučené dávkování CO₂ v závislosti na průměru drátu.

Průměr svařovacího drátu (mm)	Množství CO ₂ (l/min)
0,8	6-8
1,0	8-10
1,2	10-12
1,6	12-14

Malé množství ochranného plynu způsobuje nedostatečnou ochranu tavné lázně a tím i pórovitost svaru. Při nedostatečném množství má plyn malou hustotu a do svařovacího místa se dostává okolní atmosféra. Naopak při nadměrném množství plynu se nám do svaru rovněž dostává vzduch. Jeho proudění se mění z lineárního na turbulentní, a tím se nám znovu znehodnocuje svar. [6]

2.3.3 Vliv velikosti svařovacího proudu

Velikost svařovacího proudu, a tím i rychlost podávání svařovacího drátu při daném průměru volíme podle polohy svařování, tloušťky základního materiálu, velikosti a druhu

prováděného svaru, způsobu svařování (automaticky nebo poloautomaticky), ale také podle přístupnosti svaru a zručnosti svářeče.[6]

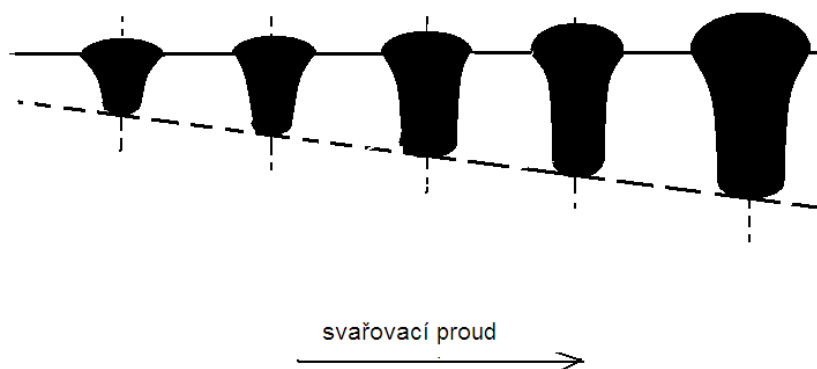
Svařovací proud u svařování MAG je přímo propojen s rychlostí podávání drátu daného průměru. V návaznosti na rychlost podávání drátu, průměr svařovacího drátu a statickou charakteristiku zdroje je stanoven svařovací proud, který je potřebný k natavení.

V tabulce 2.2 je doporučený svařovací proud v závislosti na průměru svařovacího drátu.

Tab. 2.2. Doporučený svařovací proud v závislosti na průměru drátu

Průměr drátu (mm)	Svařovací proud (A)
0,8	50-190
1,0	60-300
1,2	70-320
1,6	100-400

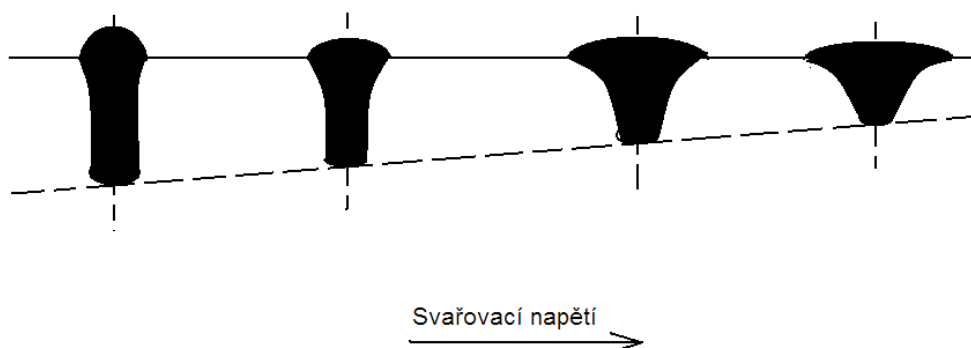
Velikost svařovacího proudu přímo ovlivňuje proudovou hustotu, hloubku závaru a též i odtavovací výkon. Proto je svařovací proud nejvhodnějším regulačním prvkem hloubky průvaru. Příliš vysoký svařovací proud má za následek zvýšení rozstřiku, nebezpečí protavení základního materiálu, vruby na přechodu svaru do základního materiálu, horší kvalitu povrchu svaru, pórovitost a propálení kořene svaru. Při nízkých svařovacích proudech také nedochází k vytvoření příznivých podmínek pro kvalitní svarový spoj. Dochází k přechodu svařovacího kovu ve velkých kapkách, povrch housenek je nepravidelný, kinetická energie letících kapek je malá a špatně se usměřují k povrchu materiálu, tím pádem je i velký rozstřík. Na obrázku 2.10. je znázorněn vliv svařovacího proudu na geometrii svarové lázně.



Obr. 2.10 Vliv svařovacího proudu na tvar svarové housenky.[8]

2.3.4 Svařovací napětí

Velikost svařovacího napětí je závislá na průměru použitého svařovacího drátu a na velikosti svařovacího proudu. Skutečná hodnota napětí se doreguluje podle podmínek svařování a vlastností použitého zdroje proudu, tak aby byla zajištěna maximální stabilita elektrického oblouku. Svařovací napětí nám přímo ovlivňuje šířku svarové lázně, velikost rozstříku, hloubku závaru, stabilitu oblouku, propal legujících prvků z tavné lázně a charakter přenosu kovu v oblouku. S rostoucí hodnotou napětí dochází k růstu šířky svarové lázně (při konstantní hodnotě svařovacího proudu), způsobuje větší rozstřík kapek a je přímo úměrný propalu legujících prvků. Dochází k prodloužení styku odtavující se kapky s okolím oblouku. Důsledkem toho jsou chemické reakce, které nám ovlivňují svarové lázně a změny v mechanických vlastnostech svarového spoje. Takto vzniklé svary jsou náchylné na pórovitost. Naopak s klesajícím svařovacím napětím při stejném svařovacím proudu se hloubka závaru zvětšuje. Vliv napětí na geometrii svarové lázně je na obr. 2.11.



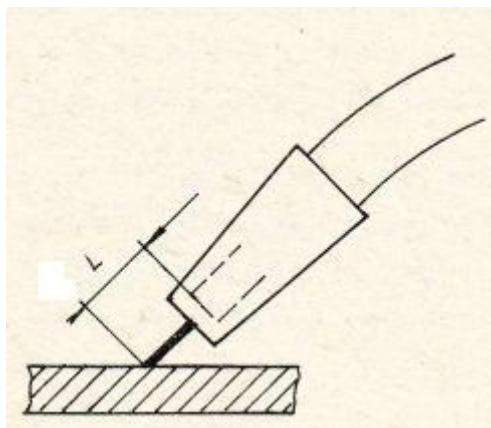
Obr. 2.11 Vliv svařovacího napětí na tvar svarové housenky[8]

Napětí na oblouku také ovlivňuje charakter přenosu kovu v oblouku. Zkratový přenos se realizuje při malých napětích na oblouku. Ke sprchovému přenosu dochází při velkých napětích. [8]

2.3.5 Výlet elektrody

Výlet elektrody je délka volného konce svařovacího drátu od nataveného konce v elektrickém oblouku po napájecí průvlak přívodu svařovacího proudu. Při výletu elektrody větší než je doporučená dochází k většímu rozstříku a horší ochraně tavné lázně. Klesá svařovací proud a roste odpor volného konce svařovacího drátu. Této skutečnosti se využívá, pokud chceme zabránit nadměrnému protavení. [6]

Na obr. 2.12. je znázorněn výlet svařovacího drátu.



Obr. 2.12. Výlet svařovacího drátu[13]

Výlet drátu se volí podle průměru svařovacího drátu

$$L=5+5xd \quad (\text{svařování v oxidu uhličitém})$$

L...výlet drátu v mm

$$L=8+5xd \quad (\text{svařování v plyných směsích})$$

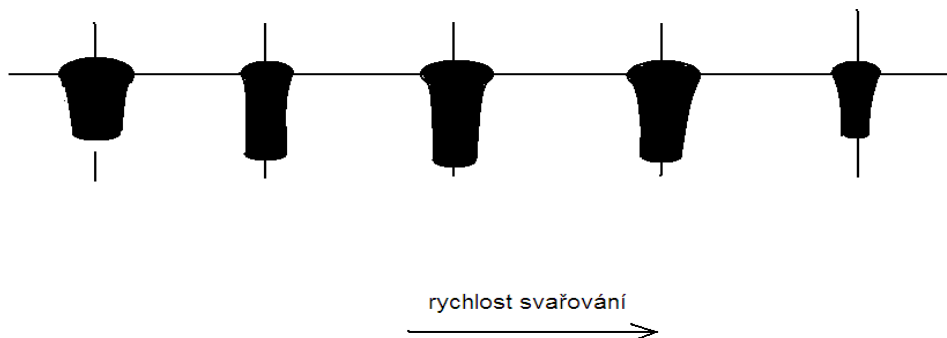
d...průměr drátu v mm

Naopak při malém výletu drátu se zvyšuje tepelné namáhání koncovky plynové dýzy. Zvyšuje se možnost zatavení drátu do této koncovky.

2.3.6 Rychlost svařování

Rychlost svařování působí opačně než svařovací proud a napětí. Zvyšováním rychlosti svařování se nám zmenšuje tepelný příkon svařování, což má vliv nejen na tvar a rozměry svaru, ale také na podmínky ochlazování. Hloubka závaru se se stoupající rychlostí svařování nejprve mírně zvyšuje, ale po překročení určité rychlosti sváření se výrazně zmenšuje.[8]

Při vysokých rychlostech svařování dokonce vznikají vruby na přechodu mezi svarem a základním materiálem. S klesající rychlostí svařování se zmenšuje převýšení a zvětšuje šířka. Správného procesu tvorby svaru lze dosáhnout spíše při nižších rychlostech svařování. Na obr. 2.13. je vliv svařovací rychlosti na geometrii svarové lázně.



Obr. 2.13 Vliv rychlosti svařování na tvar svarové housenky.[8]

2.4 Systém Weld Monitor

Zařízení umožňuje díky moderní digitální technologii monitorovat a podrobně zdokumentovat proces svařování, a tím zajistit snadnější reprodukovatelnost svarových spojů v co nejlepší kvalitě. Přináší zefektivnění a optimalizaci výroby a dokumentace svařovaných výrobků dle platných evropských a mezinárodních norem.[11]

Dochází k zefektivnění a optimalizaci výroby v oblasti svařování. V neposlední řadě se systém snaží o ulehčení práce všem pracovníkům v oblasti svařování. Dává možnost snáze odhalovat a opravovat chyby, zvyšuje kvalitu výrobků a je schopný kontrolovat více svařovacích zdrojů bez ohledu na jejich typ a výrobce. Tím dochází ke snižování výrobních nákladů. Je schopný odhalit nedodržení postupu od tzv. vzorového svaru. Všechny nasnímané hodnoty lze archivovat.

2.4.1 Weld Monitor hardware

Připojuje se k libovolnému svařovacímu stroji a následně k řídicímu počítači. V základním provedení monitoruje průběh svařovacího proudu a napětí. On-line měří s vysokou přesností efektivní hodnoty těchto veličin a zároveň kalkuluje důležitou veličinu - vnesené teplo. Umožňuje velmi rychlý záznam průběhu svařovacího napětí a proudu, kdy jsou zaznamenány změny v napětí a proudu až do frekvenčního rozsahu 12.500Hz, což je nezbytná podmínka pro spolehlivou diagnostiku zkratových, impulzních a sprchových svařovacích procesů. Má metrologické parametry ověřeny v akreditované zkušebně ČR. [10]

Přehled sledovaných veličin:

1. svařovací proud
2. svařovací napětí
3. spotřeba drátu
4. svařovací rychlost
5. svařovací čas
6. spotřeba energie

2.4.2 Weld monitor software

Zajišťuje spolehlivý záznam měřených průběhů. Umožňuje velice sofistikované zobrazování reálně nasnímaných veličin. Obsahuje diagnostiku v reálném čase, evidenci, dokumentaci a databázovou zprávu. Dále je možno stanovit náklady svarových spojů pro

výrobek, přehled svářečů a protokol přezkoušení. Do protokolu lze začlenit jiné než uvedené protokoly podle individuálních požadavků odběratele. [9]

Program má intuitivní ovládání a umožňuje profesionálně zobrazovat výsledky reálných nasnímaných dat. Je určen pro moderní platformu operačního systému Windows s velmi dobrými, jednotlivými, grafickými výstupy jednotlivých tiskových protokolů. Je zde zakomponovaná otevřená databáze firem, svářečů a jejich zkoušek, zařízení (zdrojů, které podléhají validaci a kalibraci), základních materiálů, přídavných materiálů, plynů, doзору svařování, postupů svařování a záznamy průběhu svařování jednotlivých svarů s možností uložení digitální fotografie. [10]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 Cíle experimentální části

Cílem experimentální části bylo zjistit vliv průměru svařovacího drátu na tvar svarové lázně při svařování metodou MAG. Při plánování parametrického nastavení svařování bylo vycházeno z předchozích zkušeností získaných při experimentech s drátem průměru 1,2 mm. Na základě těchto zkušeností byl vypracován plán experimentu (tab. 3.1). Dále byla řešena otázka, zda svařovat podle synergické křivky, nebo přímo nastavovat potřebné parametry. Vzhledem k tomu, že se v průmyslové praxi v drtivé většině případů svařuje podle synergické křivky zdroje, bylo rozhodnuto upravit dle této praktiky i návrh experimentu. Z důvodu omezené velikosti bakalářské práce, byla experimentální část provedena pouze pro průměry svařovacích drátů 1 a 1,2 mm.

V tab. 3.1 plán experimentu jsou udány svařovací parametry pro jednotlivé experimentální svary. Tyto kombinace svařovacího proudu a svařovací rychlosti byly shodně použity pro oba průměry svařovacího drátu. Hodnoty svařovacího proudu byly voleny tak, aby byla mapována jak zkratová, tak i bezzkratová oblast přenosu kovu.

Z důvodu další možné využitelnosti výsledků práce byla jako základní materiál zvolena nízkouhlíková ocel 11 373 a ochrannou atmosféru tvořil dvousložkový plyn Ar/CO₂ 82/18. Jde o kombinaci nejvíce využívanou při svařování ocelových konstrukcí. Více o materiálu, ochranném plynu a geometrii vzorku je v kapitole 3.3.1.

Celá experimentální část byla rozdělena do několika etap:

1. Příprava vzorků.
2. Svaření vzorků podle plánu experimentů.
3. Monitorování svařovacích parametrů
4. Rozřezání vzorků a příprava pro metalografické zpracování.
5. Metalografické zpracování a naleptání vzorků.
6. Geometrické vyhodnocení svarové lázně.

Tab. 3.1 Plán experimentu

I[A]	140				200					280			
v[m/min]	0,2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,6	0,7

3.2 Zařízení pro splnění cílů experimentální části

Experimentální práce probíhali na třech pracovištích. Jednalo se o laboratoř svařování, kde byly provedeny veškeré experimentální svary a laboratoř dělení materiálu, v níž došlo k přípravě a sestavení vzorků a po získání monitorovaných svarů i k rozřezání vzorků a jejich přípravě pro metalografické zpracování. Posledním místem byla metalografická laboratoř. V ní se provádělo broušení, leštění, leptání a focení makrostruktury svarů na mikroskopu a následné geometrické vyhodnocení programem NIS Elements AR 2.30. Více o jednotlivých pracovištích je v následujících kapitolách.

3.2.1 Laboratoř svařování

Laboratoř svařování je vybavena svařovacími zdroji pro svařování metodami (111, 131, 135 a 141) a dvěma lineárními dráhami pro svařování rychlostmi 0 – 0,18 m/min a 0,2 – 2,3 m/min, systémem umožňujícím monitorizaci svařovacích parametrů Weld Monitor.

Pro vlastní experiment byl použit svařovací zdroj MIGATRONIC BDH 550 Puls Syn, lineární automat s rozmezím svařovacích rychlostí 0,2 – 2,3 m/min a systém Weld Monitor. Svařovaný vzorek byl upevněn ve speciálním přípravku, umožňujícím přesné definování součinitele přestupu tepla do okolí, takže je možné získané experimentální výsledky využít i při simulačních výpočtech svařování. Celkové uspořádání pracoviště, pro experimentální část této práce, je na obr. 3.1.



Obr. 3.1. Laboratoř svařování

3.2.1.1 Svařovací zdroj Migatronic BDH 550 PulsSyn

Migatronic BDH 550 PulsSyn je invertorový zdroj s možností pulzního režimu a synergického ovládání (obr. 3.2.). Zdroj je vybaven ručním a automatizovaným hořákem pro svařování oceli a ručním hořákem pro svařování hliníku. Délka hořáku je speciálně upravena, aby bylo možné simulovat i robotické svařování.

Zdroj BDH 550 PulsSyn dává možnost automatizovaného svařování na lineární dráze a otočném polohovadle, monitorování parametrů svařování vestavěným systémem Infoweld i vnějším monitorovacím systémem Weld Monitor.



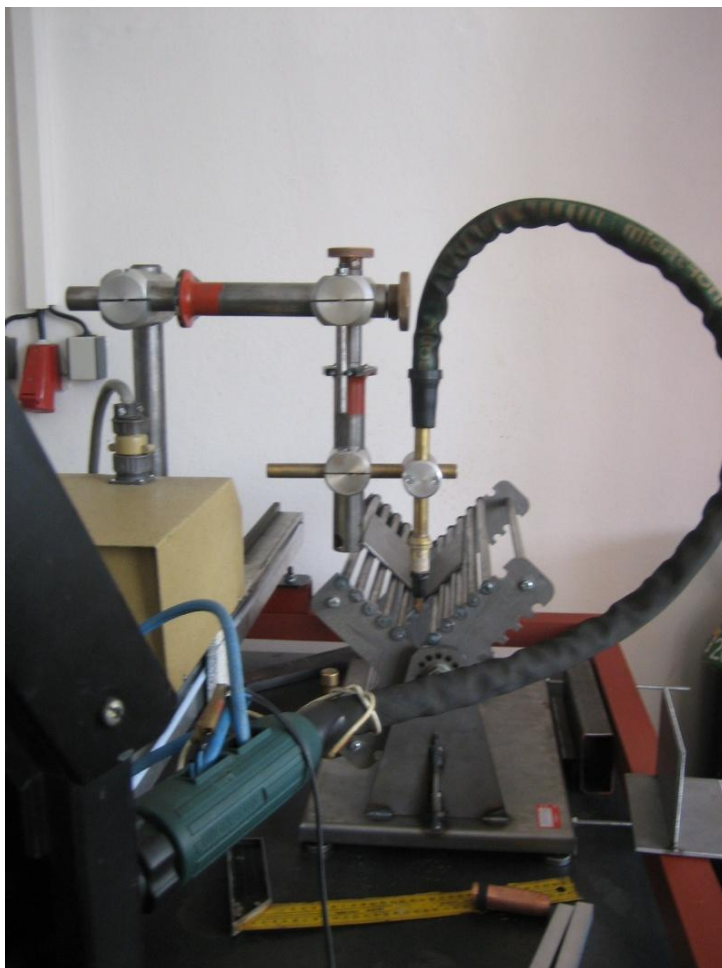
Napájecí napětí [V]	3x400
Rozsah proudu [A]	5-550
Zatěžovatel 100% [A]	400
Zatěžovatel 60% [cm]	500
Napětí naprázdno [V]	80
Krytí	IP 21
Rozměr [cm]	110x64x141
Hmotnost [kg]	155

Obr. 3.2. Svařovací zdroj Migatronic BDH 550 PulsSin jeho technické parametry

3.2.1.2 Přípravek

Speciální přípravek, který byl vytvořen v rámci grantového projektu GAČR (obr. 3.3.) slouží k zajištění požadované geometrické polohy mezi svařovaným materiálem a svařovacím hořákem (obr. 3.3.). Přípravek je koncipován tak, aby bylo možno vždy jednoznačně definovat úhel mezi hořákem a vzorkem. Toto řešení umožňuje svařovat tupé i koutové svary. V této práci byla pozornost zaměřena pouze na koutové svary.

Jak již bylo řečeno, přípravek slouží pro přesné definování odvodu tepla do okolí, díky liniovému dotyku na styčných plochách. To je velice výhodné při použití výsledků pro simulační výpočty.



Obr. 3.3. Speciální přípravek

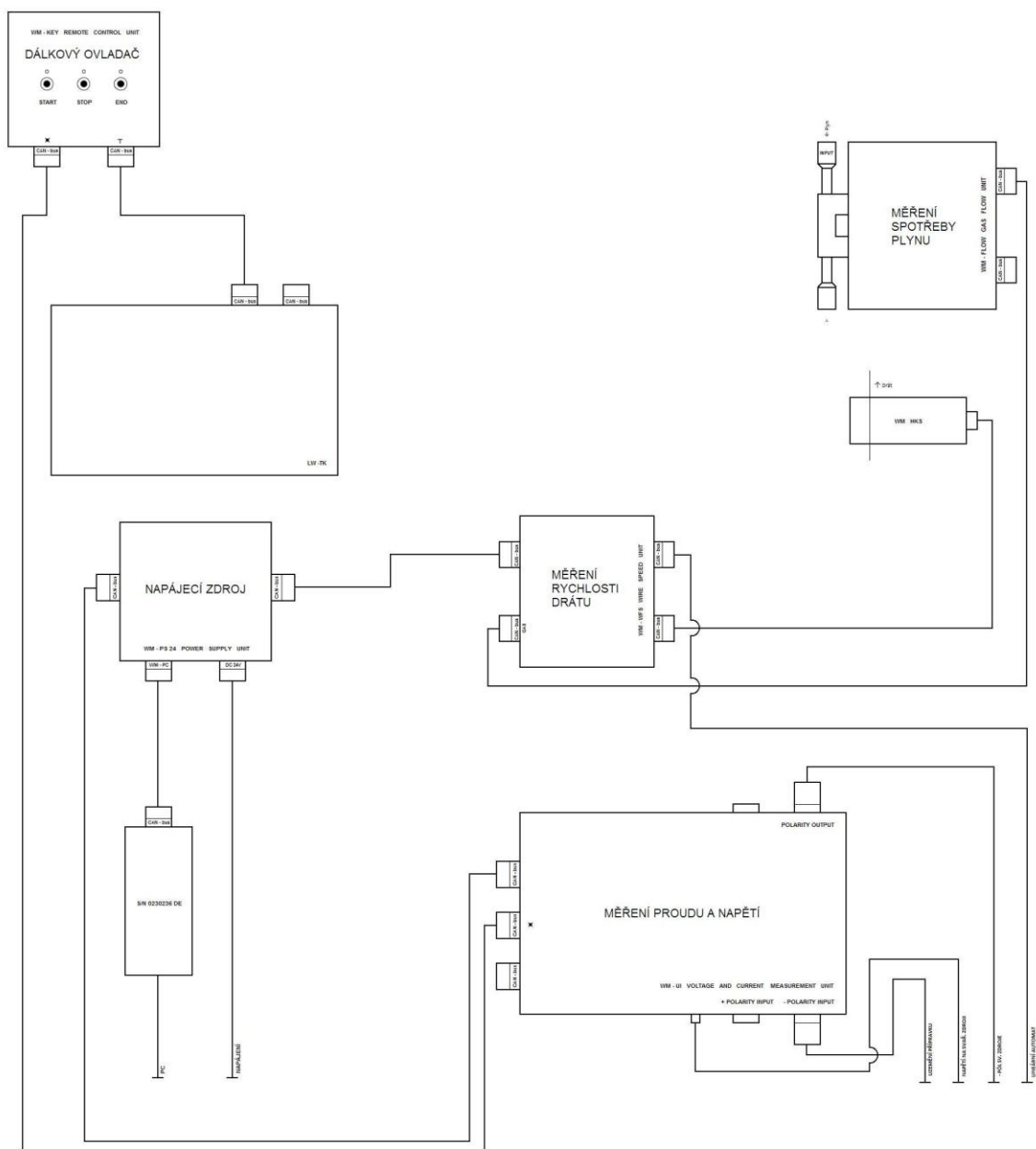
3.2.1.3 Monitorování svařovacích parametrů systémem Weld Monitor

Monitorování svařovacích parametrů bylo prováděno pomocí systému Weld Monitor. Jak již bylo částečně uvedeno v kapitole 2.4, systém monitorizace a zaznamenávání veličin je složen z několika na sobě nezávislých modulů. Schéma zapojení těchto modulů použité při řešení této práce je na obr. 3.4

Toto zapojení umožnilo sledovat následující parametry:

- Okamžitý i průměrný svařovací proud.
- Okamžité i průměrné svařovací napětí.
- Okamžitou i průměrnou svařovací rychlost.
- Průtok plynu.
- Rychlost posuvu drátu.
- Svařovací čas.
- Spotřebu přídatného drátu.

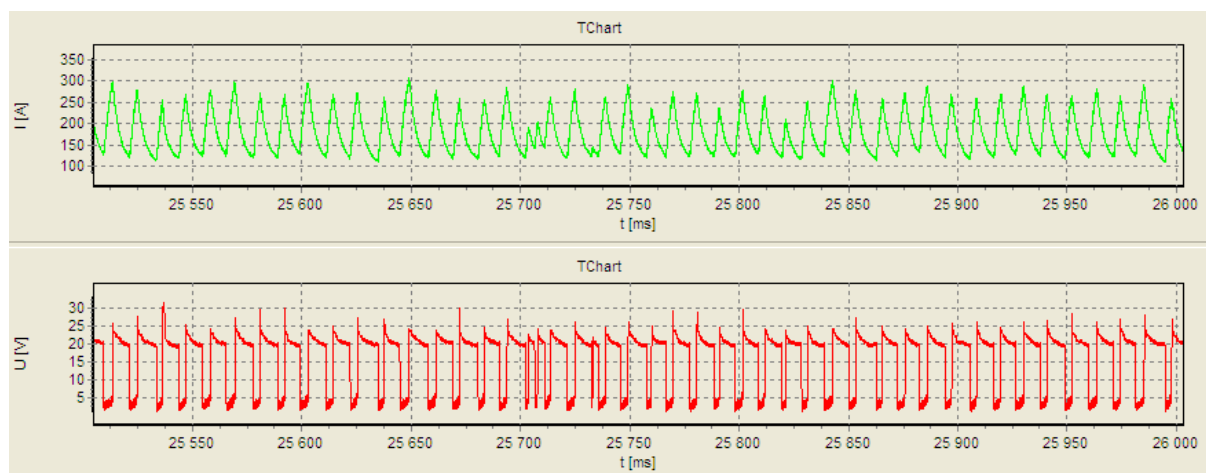
Veškerá měřená data byla zaznamenána a uložena do externího počítače, ve kterém je možno tato data editovat. Získané výsledky je možné z programu exportovat v datové i grafické podobě. V tabulce 3.2. jsou zobrazeny průměrné namonitorované hodnoty svaru S5c006 a na obrázku 3.5. je detailní zobrazení průběhu napětí a proudu téhož svaru.



Obr. 3.4 Schéma zapojení Systému Weld monitor

Tab. 3.2. Průměrné namonitorované hodnoty svaru S5c006

nastavený proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m*min ⁻¹]	proud [A]	svařovací rychlost [m/min]	napětí [V]	posun drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]	Vzdálenost špičky [mm]
140	0,2	183,1	0,196	17,7	3,638	1,326	15,7	14

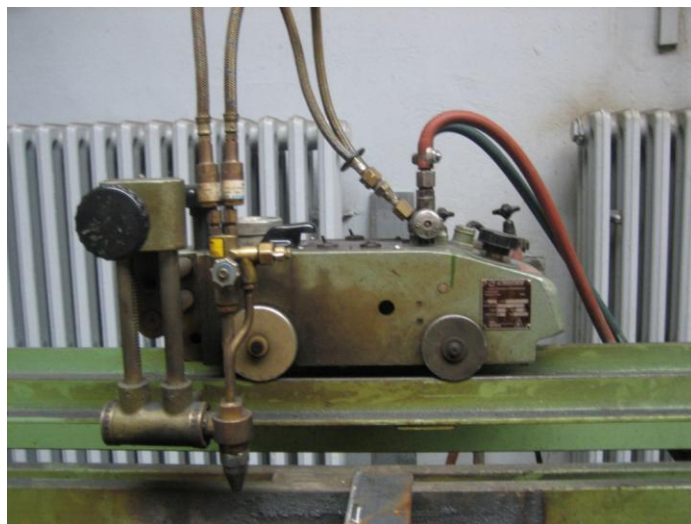


Obr. 3.5. Grafický záznam svařovacího proudu a napětí pro svar S5c006

3.2.2 Laboratoř dělení materiálu

V laboratoři dělení materiálu se nachází zařízení pro svařování obalenou elektrodou od firmy Migatronik MAMBA 151E, zařízení pro dělení materiálu kyslíko-acetylenovým plamenem RS26 a zařízení pro mechanické opracování a přípravu vzorků.

V této laboratoři proběhla nejprve příprava vzorků pro vlastní experiment. Více o přípravě vzorků viz kapitola 3.3.1. Po zhotovení experimentálních svarů byly vzorky přeneseny opět do této laboratoře a pomocí poloautomatického dělicího zařízení RS 26 (obr. 3.6) byly vytvořeny polotovary pro zhotovení vzorků pro metalografické vyhodnocení. Schématické znázornění polotovaru je na obrázku 3.12.



Obr. 3.6. Zařízení pro dělení materiálu RS 26

3.2.3 Metalografická laboratoř

Metalografická laboratoř je rozdělena na dvě části. V první části se nachází přípravná vzorků, která obsahuje rozbrušovací pilu s vodním chlazením Delta AbrasiMet, poloautomatickou brusku a leštičku PHOENIX 400, automatický lis pro zalisování vzorků SimpliMet 1000 a veškeré příslušenství pro leptání a metalografické zpracování vzorků.

Druhá část obsahuje dva mikroskopy Neophot 21, digitální fotoaparát NIKON Coolpix 995 a mikrotvrdoměr Hanemann. K jednomu z mikroskopů je připojena digitální kamera Nikon digital sight umožňující snímat makro a mikrostruktury přímo do programu NIS Elements 2.30 sloužícímu k vyhodnocování geometrie jednotlivých vzorků.

3.2.3.1 Rozbrušovací pila Delta AbrasiMet

Kompaktní ruční rozbrušovací pila Delta AbrasiMet ve stolním provedení s vodním chlazením je vidět na obr. 3.7. Dostatečně účinné cirkulační chlazení (velká sedimentační nádrž s filtrem nebo bez) zaručuje velmi krátké řezací časy a na druhé straně zajišťuje vysokou kvalitu řezu bez tepelného ovlivnění materiálu v dělicí rovině. Kotouč se do řezu uvádí pomocí páky, přičemž se zároveň pohybuje i vlastní motor vyvážený pružinami. Na obr. 3.7. je rozbrušovací pila Delta ArasiMet s technickými parametry.



Motor	3,0 kW, 380 V, 50 Hz, 3400 ot/min
Upínání	dvojité rychloupínání před a za kotoučem, nebo individuální upínače
Chlazení	cirkulační čerpadlo o výkonu 75W
Řezná kapacita [mm]	max. do Ø 95
Řezné kotouče [mm]	Ø 254 x 32 x d...volitelné podle druhu řezaného materiálu
Rozměry [mm]	600 x 425 x 665
Hmotnost [kg]	91

Obr. 3.7. Rozbrušovací pila Delta ArasiMet s technickými parametry

3.2.3.2 Bruska a leštička Phoenix 400

U poloautomatické brusky a leštičky Phoenix 4000 (obr. 3.8.) je možné volit na displeji rychlost a směr otáčení pracovního kotouče, dobu broušení nebo leštění, centrální přítlak na držák vzorků nebo individuální přítlak na jednotlivé vzorky. Motorizovaná hlava pro držák vzorků pracuje s konstantními otáčkami a volitelným směrem otáčení. Funkce přístroje jsou ovládány pneumaticky. Robustní keramická hlava snižuje hluk a vibrace. To má za následek přesně opracované plochy.



Motor	0,5 kW, 380 V, 50Hz, pro konstantní otáčky 0,6 kW pro měnitelné otáčky
Hlava	motorizovaná, 120 ot/min, volitelný směr otáčení
Rozměry [mm]	600 x 650 x 575
Pracovní kotouče [mm]	Ø 250 a 300 z Al slitiny
Hmotnost [kg]	95

Obr. 3..8. Bruska a leštička Phoenix 4000 s technickými parametry

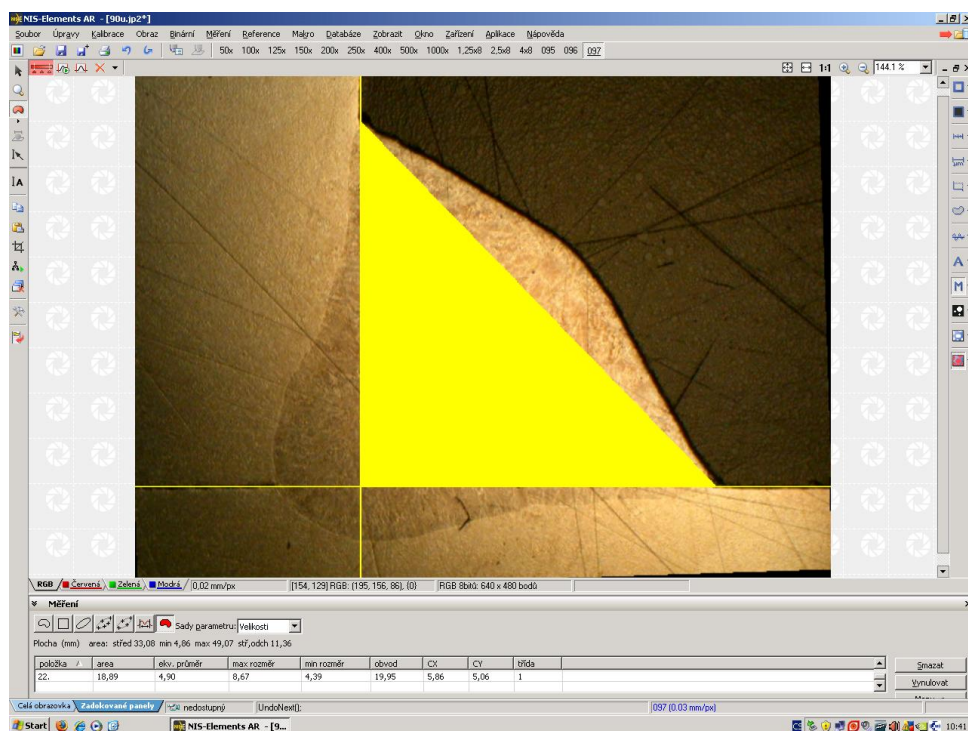
3.2.3.3 Optický mikroskop Neophot 21

Optický mikroskop Neophot 21 (obr. 3.9.) je propojen pomocí digitální kamery Nikon digital sights programem NIS Elements 2.30 sloužícím k vyhodnocování geometrie jednotlivých vzorků. Svary, jejichž celková plocha byla větší než snímací plocha digitální kamery, bylo nutné předem nafotit digitálním fotoaparátem Nikon Coolpix 995, včetně informace o měřítku. Tyto svary byly posléze vloženy přímo do programu NIS Elements 2.30, kde došlo k jejich geometrickému vyhodnocení.

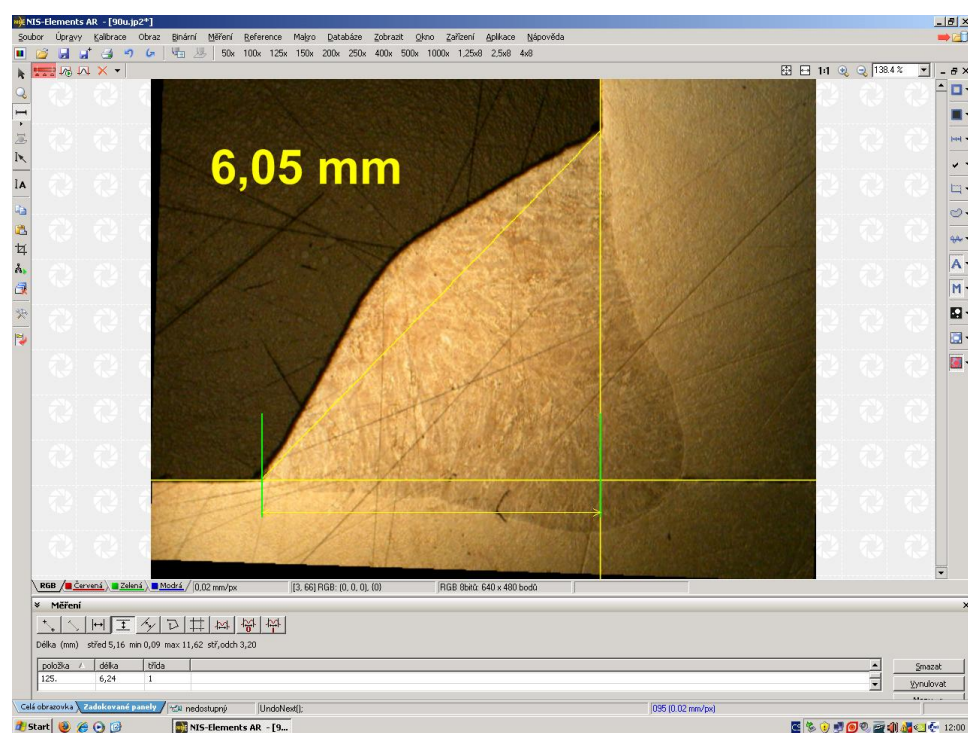


Obr. 3.9. Optický mikroskop Neophot 21

Na obrázcích 3.10. a 3.11. je zobrazen způsob geometrického vyhodnocení plochy svaru (obr. 3.10.) i jednotlivých rozměrů (obr. 3.11.) v programu NIS Elements 2.30.



Obr. 3.10 Ukázka měření ploch v MS Elements AR 2.30. vzorek S5c090



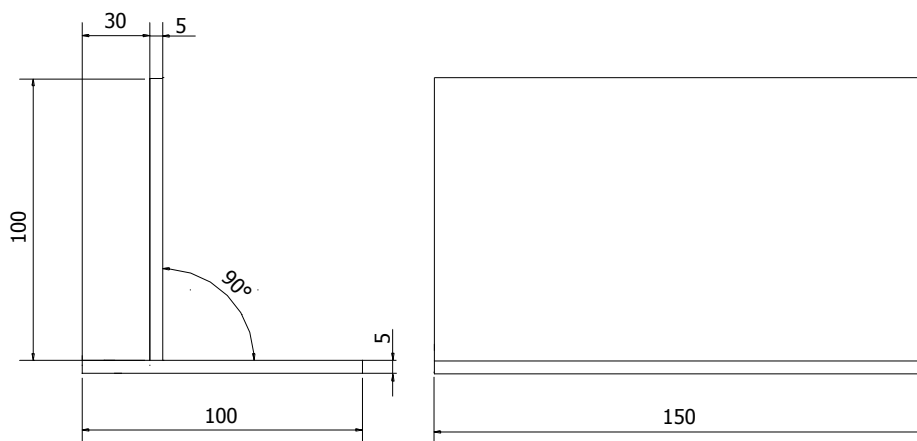
Obr. 3.11 Ukázka měření vzdáleností v MS Elements AR 2.30. vzorek S5c090

3.3 Postup experimentu

3.3.1 Příprava vzorku

Pro experiment byl vybrán materiál ČSN 11 373. Jedná se o ocel nelegovanou, která je vhodná pro svařování ocelových konstrukcí. Koutové svary pro jednotlivé experimenty byly připraveny z plechů o rozměrech 150x100x5. Délka 150mm je dostatečná k tomu, aby bylo dosaženo ustáleného teplotního pole a tím i ustáleného průřezu svaru. Šířka 100mm je dostačující k odvodu tepla z místa svaru a tím umožňuje bezproblémové monitorování teplotních polí i teplotního gradientu. Tloušťka 5mm byla volena na základě předchozích zkušeností (svařování drátem průměru 1,2mm) s ohledem na hodnoty maximálního proudu v plánu experimentu (tab. 3.1). Při použití menší tloušťky by mohlo dojít k protavení základního materiálu a větší tloušťky nebyly zvoleny jednak z ekonomického důvodu a také z důvodu větší pracnosti při vytváření metalografických vzorků.

Plech o rozměrech 150x100x5 byly k sobě nastehovány v přípravku, aby byla zaručena jejich kolmost i geometrická shoda. Na obr. 3.12 jsou uvedeny rozměry takto připravených vzorků. Protože se jednalo o stříhané plechy, bylo nutné obrobit dosedací plochu stojny, aby nebyla ovlivněna geometrie svaru z důvodu případné deformace po stříhání. Tato operace také vyřešila problematiku svarové mezery. Vzhledem k obrobené dosedací ploše, je možné uvažovat nulovou svarovou mezeru. Tyto operace byly prováděny v laboratoři dělení materiálu viz kap. 3.2.2.

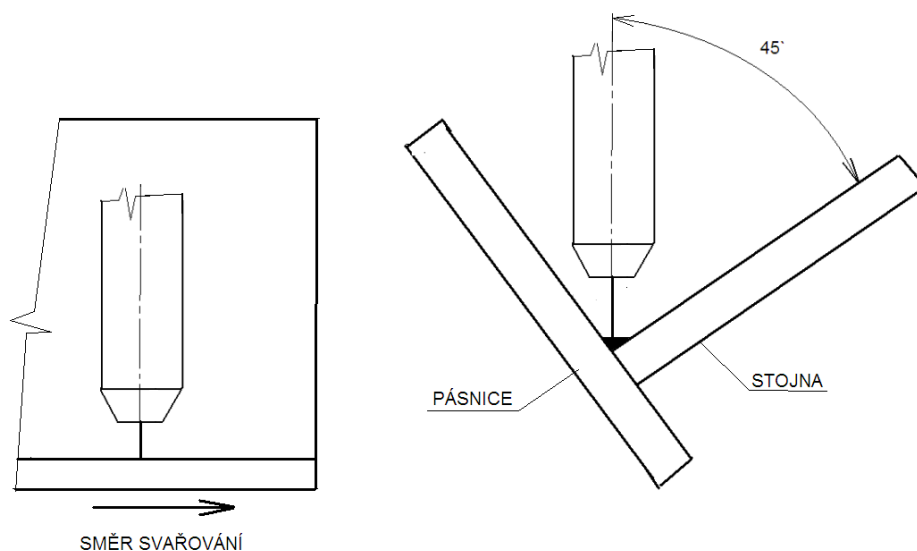


Obr.3.12. Schéma a geometrie svařeného polotovaru

3.3.2 Svaření vzorků podle plánu experimentů.

Připravené vzorky byly očíslovány a přeneseny do laboratoře svařování. Nastavení svařovacích parametrů na zdroji BDH 550 Puls Syn. Svařován proběhlo pro každý svar podle plánu experimentů (tab. 3.1). Poté byly monitorovány skutečné hodnoty svařovacích parametrů programem Weld Monitor.

Co se týče polohy svařování, byl svařován koutový svar do úžlabí, v poloze vodorovné shora PA. Stojina a pásnice byly vůči svařovacímu hořáku pod úhlem 45° (obr. 3.13). Také ve směru svařování nebyl hořák vykloněn a svíral se vzorkem úhel 90° a osa hořáku směřovala přímo do kořene svaru (obr. 3.13).



Obr. 3.13 Schéma polohy svařování nabodovaných vzorků vzhledem k hořáku

Jako přídavný materiál byl použit drát OK Autrod 12.51 (kapitola 3.3.2.2) a jako ochranný plyn dvousložkový plyn od firmy AIR PRODUCT EUROMIX® M21 (kapitola 3.3.2.1).

3.3.2.1 Ochranný plyn

Použili jsme standardní dvousložkovou směs plynů Argonu (82%) a CO_2 (18%) od firmy AIR PRODUCTS s prodejním označením EUROMIX® M21. Tento plyn je vyráběn a plněn dle standardních výrobních postupů, ověřených v rámci certifikace systému řízení jakosti dle norem řady ISO 9001:2000.

Plyn je určen pro ochranné atmosféry určené pro svařování konstrukčních uhlíkových ocelí, nelegovaných a nízkolegovaných elektrickým obloukem metodou MAG.

Směs je v souladu s normou ČSN 14 175.

Složky směsi a jejich poměry:

oxid uhličitý	18%
vlhkost	< 5 ppm
argon	82%

Lahve jsou plněny na tlak 30 MPa (300 bar) při teplotě 15°C.

3.3.2.2 Přídavný drát

Pro svařování byl použit drát OK Autrod 12.51 od firmy ESAB o průměru 1,2 mm a 1,0 mm. Používá se pro svařování nelegovaných konstrukčních ocelí, pro výrobu tlakových nádob s pevností do 530 MPa a jemnozrnných ocelí s mezí kluzu > 420 MPa. Drát je poměděný, umožňuje svařování vysokým proudem (sprchový proces) a má krátký přenos oblouku v poloze vodorovné i mimo ni.

Typické chemické složení drátu (%):

C	Si	Mn
0,09	0.90	1,5

Svařovací parametry a orientační výkonové hodnoty:

Ø d [mm]	proud [A]	napětí [V]	výtěžnost svarového kovu [g/100g drátu]	spotřeba plynu [l/min]	rychlost podávání [m/min]	výkon svařování [kg/h]
1	80-300	18-32	96	16	2,7-15	1-5,6
1,2	120-380	18-34	97	18	2,7-15	1,3-8

3.3.3 Monitorizace svařovacích parametrů

Monitorování svařovacích parametrů bylo prováděno pomocí systému Weld Monitor. Schéma zapojení systému i seznam monitorovaných parametrů je uveden v kapitole 3.2.1.3. Veškeré monitorované veličiny byly ukládány do externího počítače s frekvencí záznamu 25 kHz a odtud byly posléze veličiny transportovány v grafické i datové podobě.

V tabulce 3.3 jsou uvedeny průměrné hodnoty monitorovaných veličin pro svary zhotovené přídavným drátem o průměru 1,2 mm a v tabulce 3.4 jsou uvedeny průměrné hodnoty monitorovaných veličin pro svary zhotovené přídavným drátem o průměru 1,0 mm.

Tab. 3.3 Průměrné hodnoty monitorovaných veličin pro svary zhotovené přídavným drátem o průměru 1,2 mm.

Svar	nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	proud [A]	svařovací rychlost [m/min]	čas [s]
S5c006	140	0,2	183,1	0,196	40
S5c007	140	0,3	178,9	0,295	28
S5c008	140	0,4	176,2	0,396	20
S5c009	140	0,5	172,2	0,494	16
S5c085	200	0,2	231,1	0,206	40
S5c044	200	0,3	224,3	0,300	26
S5c045	200	0,4	223,1	0,397	19
S5c046	200	0,5	219,9	0,501	16
S5c047	200	0,6	219,3	0,605	13
S5c073	280	0,4	305,5	0,406	20
S5c074	280	0,5	305,4	0,507	16
S5c075	280	0,6	307,2	0,608	13
S5c076	280	0,7	310,6	0,710	11

Svar	vzdálenost [mm]	napětí [V]	posun drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]
S5c006	130,7	15,7	3,638	1,326	17,7
S5c007	137,7	15,8	3,639	0,904	17,7
S5c008	132	15,8	3,641	0,661	17,8
S5c009	131,7	15,8	3,643	0,543	17,8
S5c085	137,3	20	5,336	1,854	15,9
S5c044	130,0	20	5,312	1,232	15,8
S5c045	125,7	20	5,317	0,924	15,8
S5c046	133,6	20,1	5,32	0,79	15,8
S5c047	131,1	20,1	5,321	0,617	15,8
S5c073	135,3	27,3	8,624	1,566	16,1
S5c074	135,2	27,3	8,624	1,215	16,1
S5c075	131,7	27,2	8,628	1,001	16,1
S5c076	130,2	27	8,631	0,921	16,1

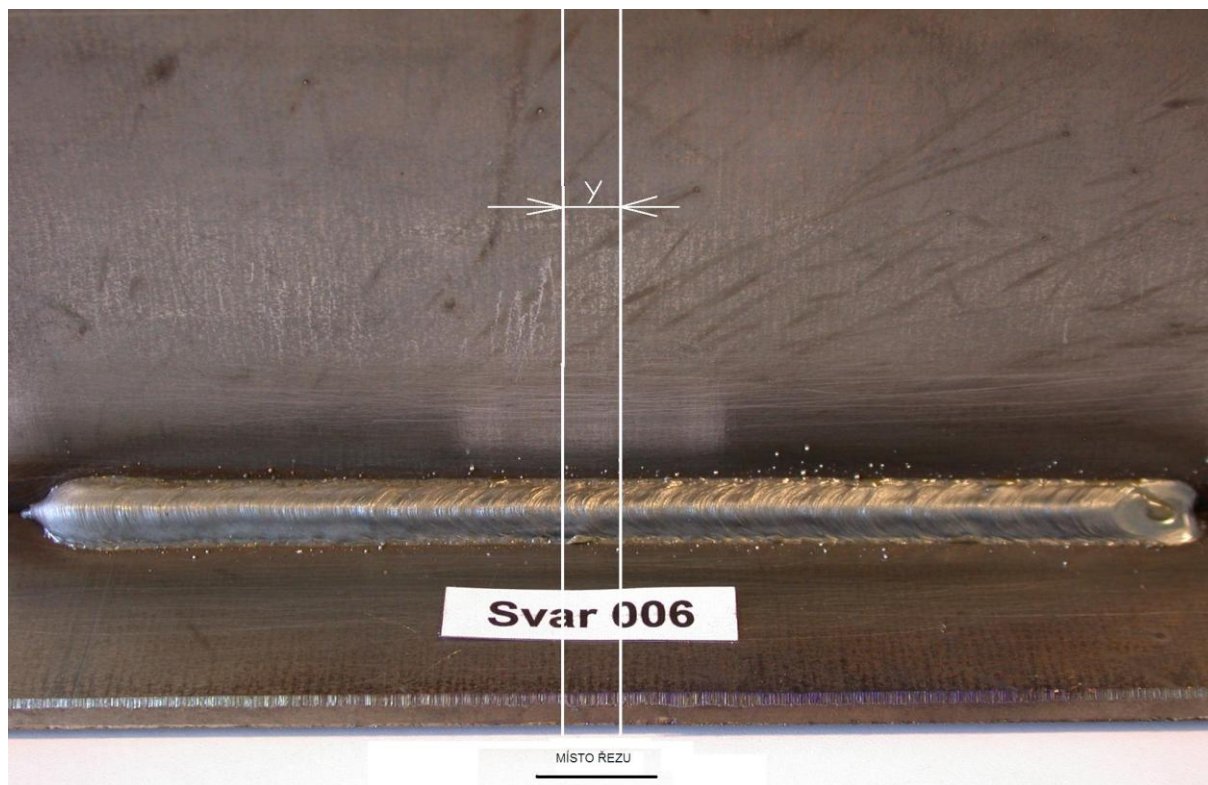
Tab. 3.4. Průměrné hodnoty monitorovaných veličin pro svary zhotovené přídavným drátem o průměru 1,0 mm.

Svar	nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	proud [A]	svařovací rychlost [m/min]	čas [s]
S5c099	140	0,2	188,1	0,205	39
S5c100	140	0,3	183,1	0,298	27
S5c101	140	0,4	180,5	0,403	20
S5c102	140	0,5	178,6	0,504	16
S5c091	200	0,2	237,5	0,2	39
S5c090	200	0,3	226,5	0,298	27
S5c092	200	0,4	222,2	0,4	20
S5c093	200	0,5	220,6	0,496	16
S5c094	200	0,6	221,4	0,598	13
S5c097	280	0,5	334,1	0,502	16,5
S5c095	280	0,6	336,3	0,598	13,5
S5c096	280	0,7	337,3	0,697	12

Svar	vzdálenost [mm]	napětí [V]	posun drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]
S5c099	133,3	18,4	6,2	2,102	16,1
S5c100	134,1	18,5	6,203	1,488	16,1
S5c101	134,3	18,5	6,206	1,125	16,1
S5c102	134,4	18,5	6,206	0,899	16,1
S5c091	130	22	9,318	3,235	16,1
S5c090	134,1	22,2	9,31	2,234	16,1
S5c092	133,3	22,3	9,325	1,7	16,1
S5c093	132,3	22,2	9,323	1,382	16,1
S5c094	129,6	22,2	9,323	1,101	16,1
S5c097	138,1	30	15,457	2,272	16,2
S5c095	134,6	29,9	15,463	1,85	16,2
S5c096	139,4	29,9	15,459	1,658	16,2

3.3.4 Metalografické zpracování a geometrické vyhodnocení

Svařené vzorky bylo nutné připravit pro následující metalografické zpracování a vyhodnocení. Celý vzorek byl ořezán tak, aby bylo zachováno pouze bezprostřední okolí svaru (kapitola 3.2.2). Z takto připraveného polotovaru byl odebrán vzorek tak, jak je naznačeno na obr. 3.14. Vzorek byl odebrán dělením na rozbrušovací kotoučové pile Delta AbrasiMet s vodním chlazením (kapitola 3.2.3.1, obr. 3.7.). Hodnota výšky vzorku y se volila 16 mm s ohledem na snížení spotřeby hmoty potřebné k zalití vzorku.



Obr.3.14. Schéma nařezání jednotlivých vzorků

Po odmaštění byly vzorky zality ve formičkách o průměru 30 mm pomocí hmoty Dentacryl a po vytvrzení hmoty byl metalografický vzorek připraven broušením, leštěním a leptáním. Broušení a leštění bylo provedeno v metalografické dílně na brusce a leštičce Phoenix 4000 (kap. 3.2.3.2, obr. 3.8.). Broušení probíhalo na 4 různých brusných papírech se zrnky z karbidu křemíku, které se lišily velikostí zrn. Byly použity brusné papíry s označením drsnosti 120, 240, 400 a 600. Jako médium pro snížení tření se použila voda. Odstranění zbylých vrypů a finalizace přípravy vzorku byla provedena leštěním na téže stroji. Pro leštění bylo použito smáčedlo pro diamantové suspenze Metadi fluid a diamantová suspenze se zrnky o velikosti 3 μm .

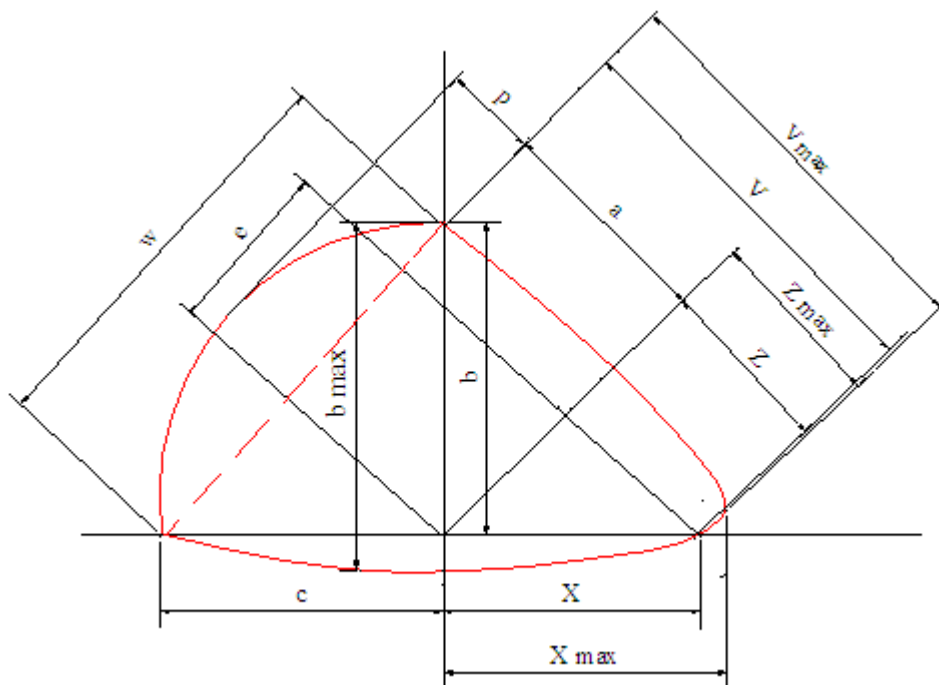
Jako konečná operace přípravy vzorků bylo leptání. Nedochází zde již k odběru materiálu, pouze ke zviditelnění struktury svaru. Vzorky byly leptány po dobu 8 sekund ve 2% roztoku Nitalu, což je roztok kyseliny dusičné v ethylalkoholu. Je třeba dodržet čas leptání, aby nedocházelo k nedoleptání, nebo přeleptání vzorku.

3.3.5 Geometrické vyhodnocení svarové lázně

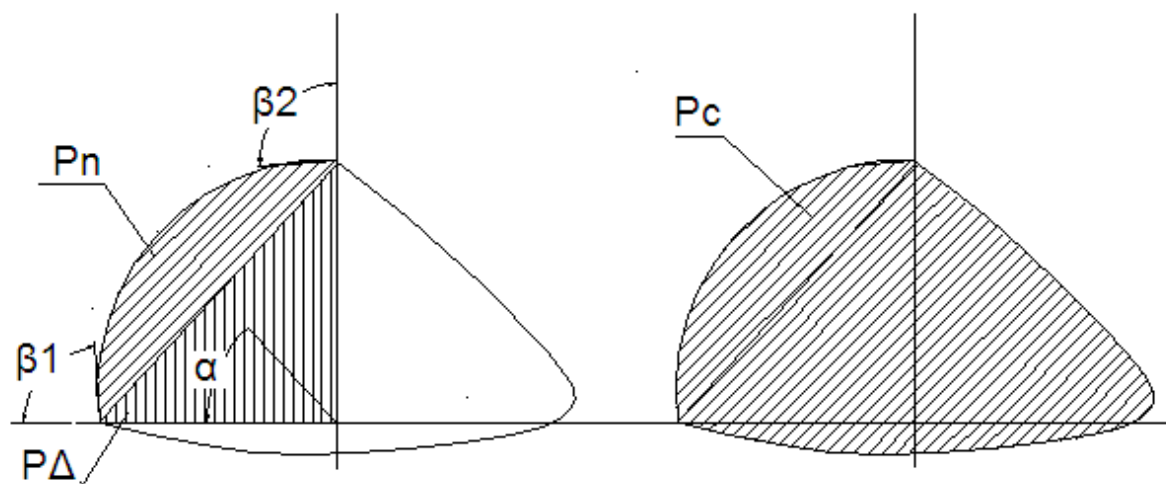
Z důvodu rozsáhlosti experimentální části je v následující kapitole popsán postup geometrického vyhodnocení pouze pro 2 vzorky. Ostatní vzorky byly vyhodnoceny stejným způsobem a jejich záznamy svařovacích veličin, včetně kompletní rozměrové analýzy jsou uvedeny v příloze.

Prvním krokem bylo snímání vzorků na optickém mikroskopu Neophot 21, který je propojen pomocí digitální kamery Nikon digital sight s programem NIS Elements AR 2.30.

Dalším krokem byla rozměrová analýza svaru. Na obrázcích 3.15 a 3.16 jsou znázorněny rozměry a plochy, které byly v rámci rozměrové analýzy v programu NIS Elements AR 2.30 zjišťovány.



Obr. 3.15. Měřené rozměry v NIS Elements AR 2.30



Obr. 3.16. Měřené plochy a úhly v NIS Elements 2.30

evýška svaru

wšířka housenky

v_{max} ...nosná velikost svaru

z_{max} ...skutečný závar

ppřevýšení svaru

P_c ...celková plocha svaru

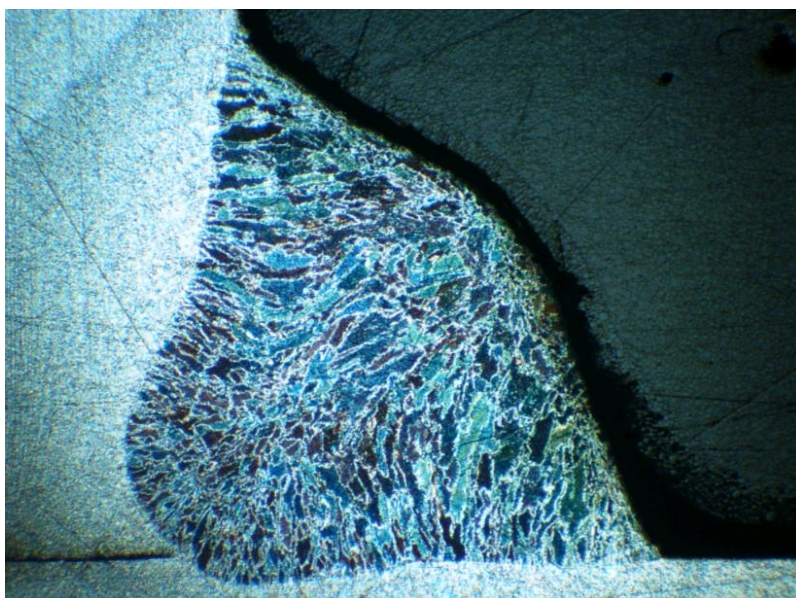
P_nplocha návaru

P_{Δ} ...nosná plocha svaru

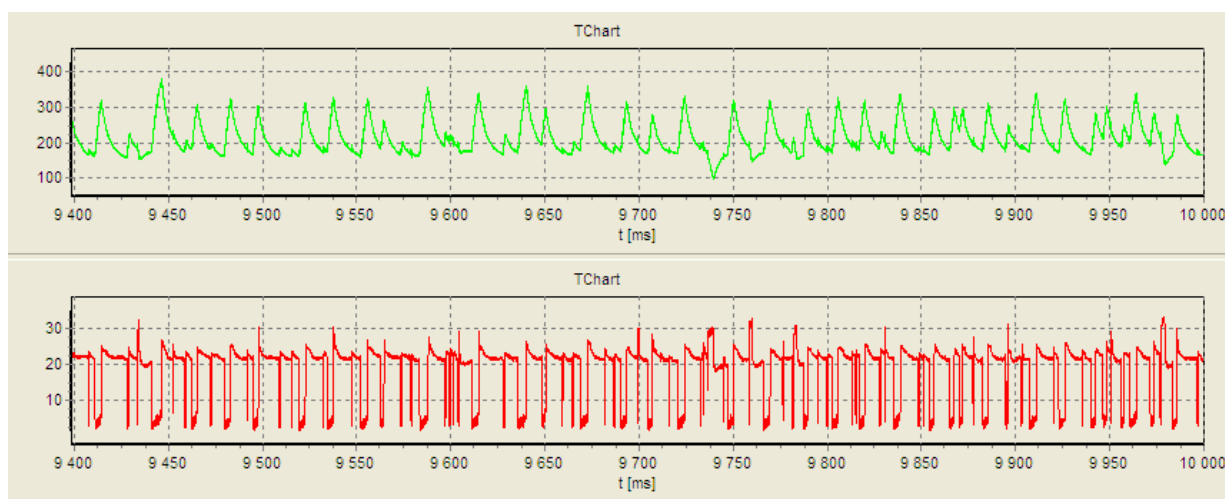
b, c ..odvěsny svaru

3.3.6. Příklad postupu vyhodnocení vzorku S5c044

Svar S5c044 byl svařován dle tabulky plánů experimentu (tab. 3.1) svařovacím proudem $I=200$ A a svařovací rychlostí $v=0,3$ m.min⁻¹. Průměr svařovacího drátu byl 1,2 mm. Na obrázku 3.17. je makrovýbrus svaru S5c044 a na obrázku 3.18. je detail grafického záznamu svařovacího napětí a proudu tohoto svaru získaný z programu Weld Monitor. V tabulce 3.5. jsou skutečné průměrné hodnoty monitorovaných veličin.



Obr. 3.17. Makrovýbrus vzorku S5c044

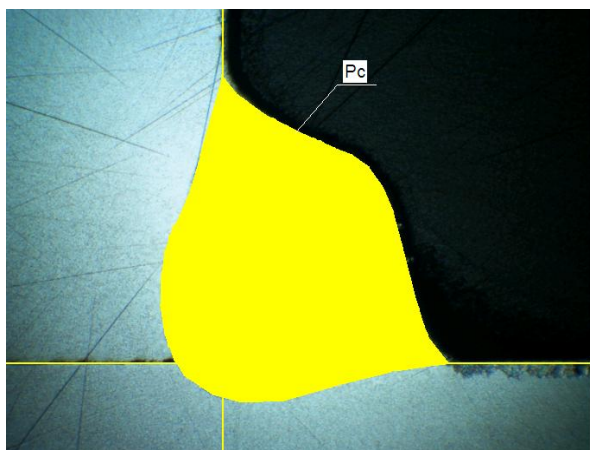


Obr. 3.18. Grafické zobrazení proudu a napětí u svaru S5c044

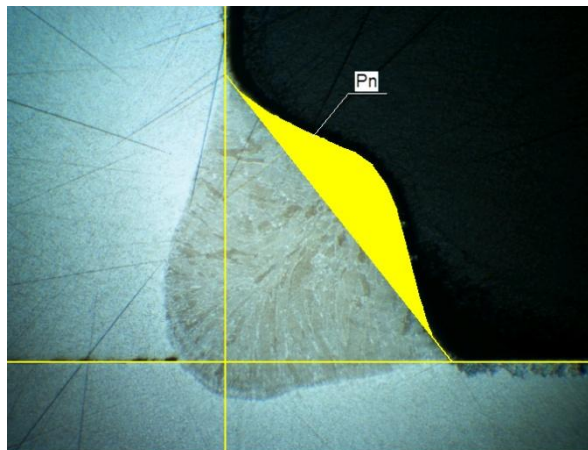
Tab 3.5. Skutečné průměrné hodnoty monitorovaných veličin svaru S5c044

nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	proud [A]	svařovací rychlost [m/min]	čas [s]	vzdálenost [mm]	napětí [V]	posun drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]
200	0,3	224,3	0,300	26	130,0	20	5,312	1,232	15,8

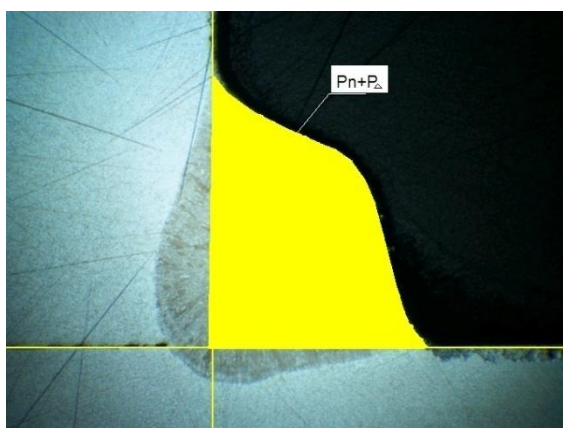
Způsob geometrického vyhodnocení svaru S5c044 v programu NIS Elements AR 2.30. je ukázán na obrázcích 3.19.a-e. Na obrázcích 3.19.a,b,c jsou ukázky měření příslušných svarových ploch a na obrázcích 3.19.d,e je znázorněn postup při rozměrové analýze.



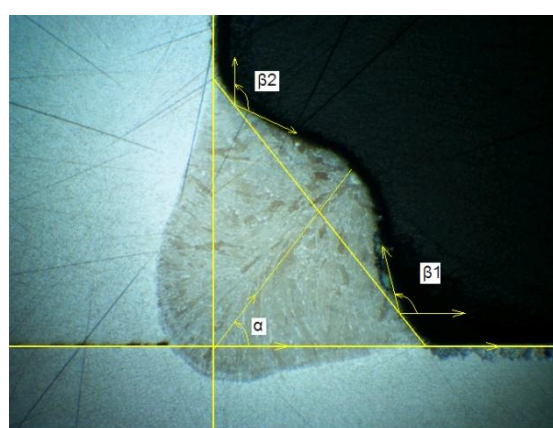
Obr. 3.19a. Celková plocha svarové lázně



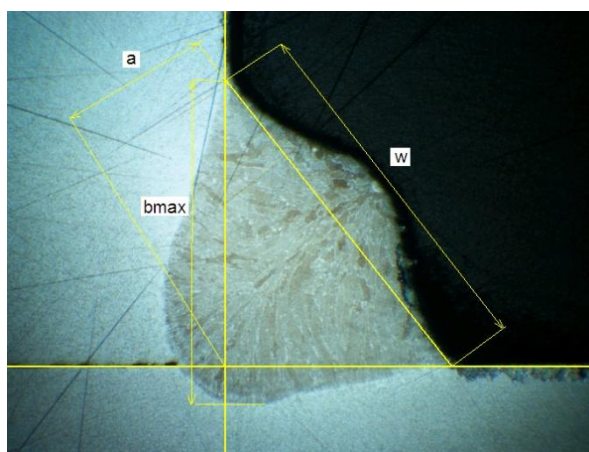
Obr. 3.19b. Plocha převýšení



Obr. 3.19c. Plocha odtaveného materiálu



Obr. 3.18d. Úhly α , β_1 , β_2



Obr. 3.19e. Rozměrové veličiny w , a , b_{max}

Kromě rozměrové analýzy na makrovýbrusu svaru byla zjišťována i délka svarové lázně. Způsob vyhodnocení je zobrazen na obrázku 3.20. Kompletní výsledky rozměrové analýzy svaru S5c044 jsou uvedeny v tabulce 3.6.



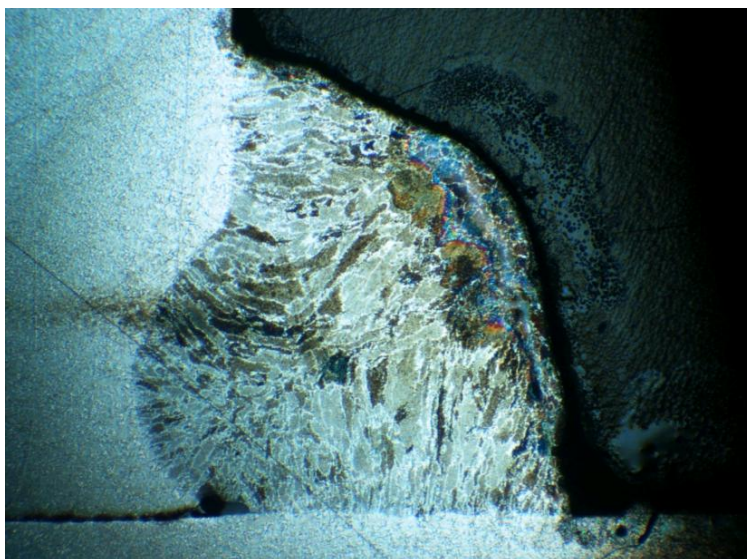
Obr. 3.20. Způsob měření délky svarové lázně

Tab. 3.6. Kompletní výsledky rozměrové analýzy svaru S5c044

a [mm]	4,0096	z_{\max} [mm]	0,5224
b [mm]	6,4017	v [mm]	0,0000
b_{\max} [mm]	6,6960	v_{\max} [mm]	0,5224
c [mm]	5,1351	α [°]	43,1400
e [mm]	0,3599	β_1 [°]	120,4400
p [mm]	1,0691	β_2 [°]	118,4700
w [mm]	8,1985	P_c [mm ²]	25,6713
x [mm]	0,5702	P_{Δ} [mm ²]	16,5643
x_{\max} [mm]	1,3379	$P_n + P_{\Delta}$ [mm ²]	20,9727
z [mm]	0,4318	P_n [mm ²]	4,4084
L [mm]	15,7400		

3.3.7. Příklad postupu vyhodnocení vzorků S5c041 a S5c006

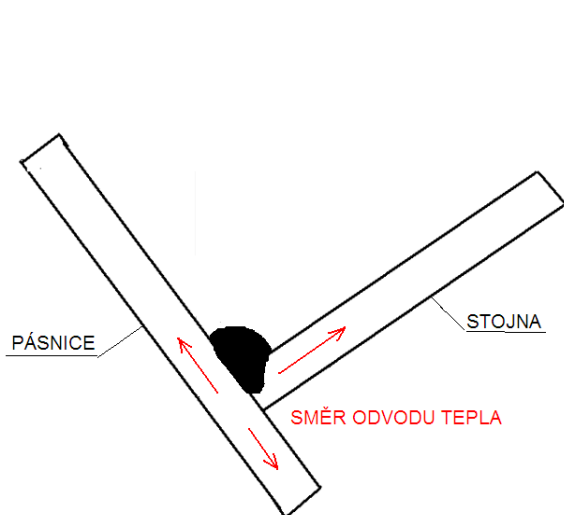
Při svařování nižšími hodnotami svařovacího proudu ($I=140\text{ A}$) a při směřování svařovacího drátu do bodu spojnice stojny a pásnice (obr. 3.13.) docházelo ke špatnému přivaření pásnice. Na obrázku 3.21. je znázorněn takovýto případ svaru S5c041. Nastavený svařovací proud byl $I=140\text{ A}$, svařovací rychlost $v=0,2\text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ a průměr svařovacího drátu $1,2\text{ mm}$.



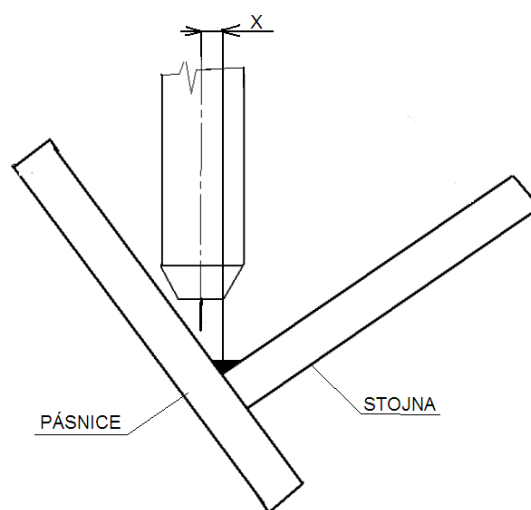
Obr. 3.21. Nevyhovující geometrie svaru S5c041

Tato nevyhovující geometrie svaru vyskytující se převážně u nízkých hodnot svařovacího proudu je způsobena nerovnoměrným způsobem odvodu tepla od místa svaru. Schematický princip odvodu tepla u koutového svaru je na obrázku 3.22a.

Této nevyhovující geometrii svaru lze předejít vyosením svařovacího hořáku do pásnice, tak jak je naznačeno na obrázku 3.22b.

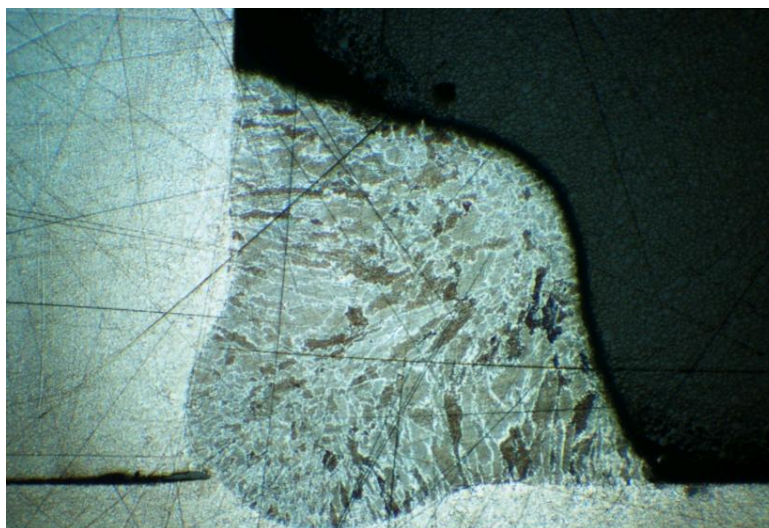


Obr. 3.22.a Způsob odvodu tepla

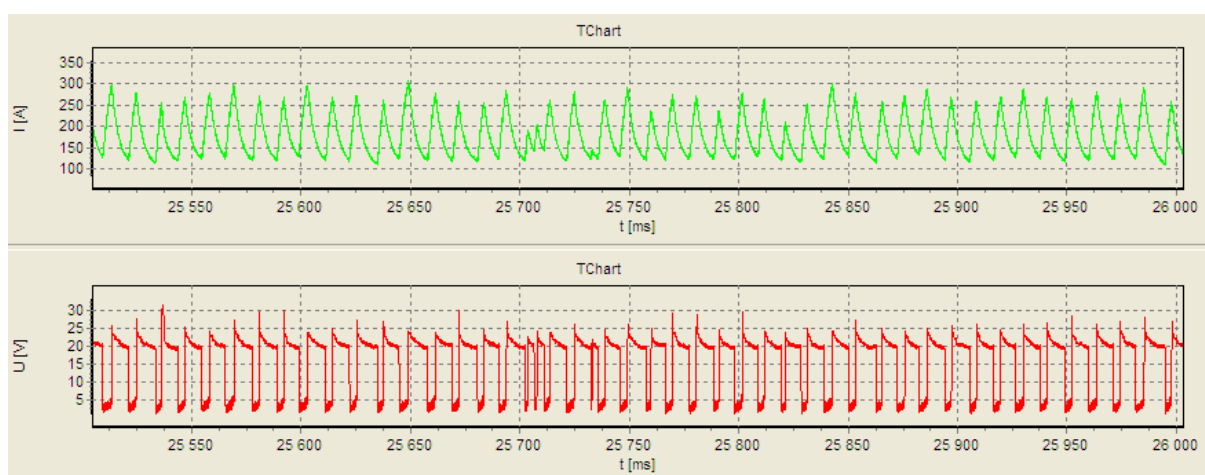


Obr. 3.22.b Způsob vyosení hořáku

Při vyosení svařovacího hořáku o 0,6 mm a při použití naprosto stejných svařovacích parametrů jako u svaru S5c041 byl zhotoven svar S5c006. Z obrázku 3.23., kde je makrovýbrus tohoto svaru je vidět že tato svarová geometrie je zcela v pořádku a vyosení o 0,6 mm dokáže eliminovat nerovnoměrný způsob odvodu tepla u koutových svarů. Na obrázku 3.24. je detail grafického záznamu svařovacího napětí a proudu tohoto svaru získaný z programu Weld Monitor pro svar S5c006 a v tabulce 3.7. jsou skutečné průměrné hodnoty monitorovaných veličin tohoto svaru. Způsob geometrického vyhodnocení je stejný jako v případě svaru S5c044.



Obr. 3.23. Vyhovující geometrie svaru S5c006



Obr. 3.24. Grafické zobrazení proudu a napětí u svaru S5c006

Tab 3.7. Skutečné průměrné hodnoty monitorovaných veličin svaru S5c006

nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	proud [A]	svařovací rychlost [m/min]	čas [s]	vzdálenost [mm]	napětí [V]	posun drátu [m/min]	spotřeba drátu [m]	průtok plynu [l/min]
140	0,2	183,1	0,196	40	130,7	15,7	3,638	1,326	17,7

3.4. Geometrické vyhodnocení experimentální části

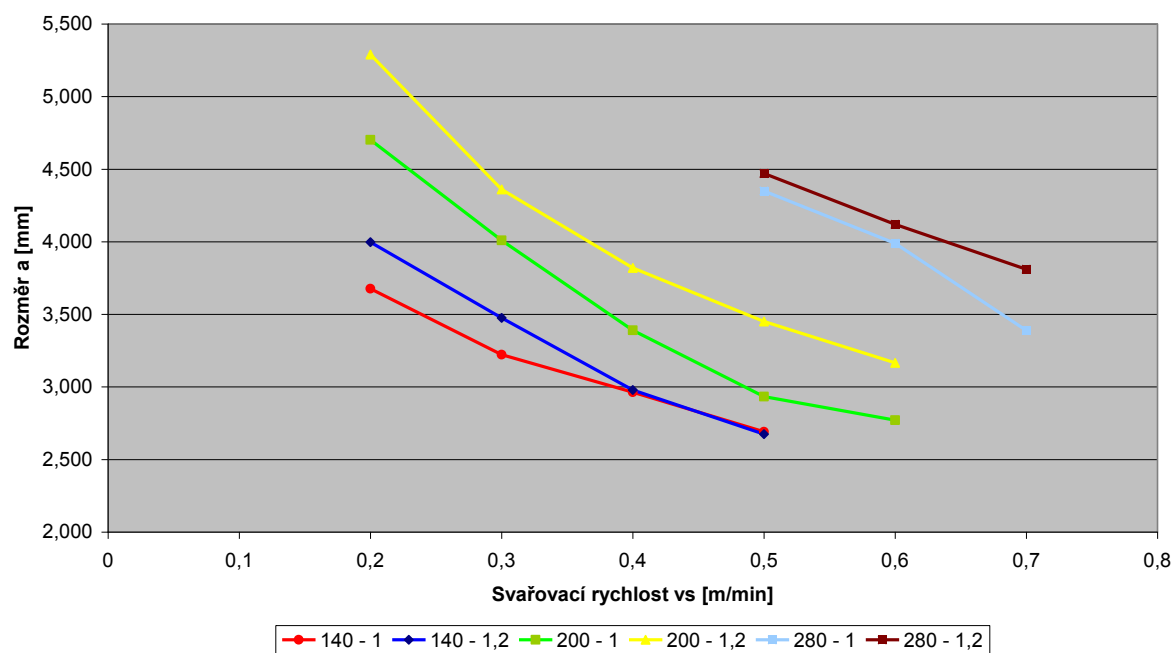
Přestože při rozměrové analýze bylo u každého experimentálně svařeného svaru vyhodnoceno celkem 21 rozměrových údajů, pro vyhodnocení experimentální části bude použito pouze šest z těchto rozměrových veličin. Budou to velikost koutového svaru a (tab. 3.8.), šířka svaru w (tab. 3.9.), délka svarové lázně L (tab. 3.10.), celková velikost průvaru v_{max} (tab. 3.11.), celková plocha svaru P_c (tab. 3.12.) a plocha svaru tvořená přídavným materiálem $P_n + P_d$ (tab. 3.13.).

Výsledky rozměrové analýzy byly zpracovány i ve formě grafů. Na obrázku 3.25. je graficky znázorněna závislost velikosti koutového svaru a na svařovací rychlosti, na obrázku 3.26. je závislost šířky svaru w na svařovací rychlosti, na obrázku 3.27. je závislost délky svarové lázně L na svařovací rychlosti a na obrázku 3.28. je graficky znázorněna závislost velikosti průvaru na svařovací rychlosti. Grafické zobrazení závislostí ploch P_c a P_n je na obrázcích 3.29. a 3.30.

Tab. 3.8. Geometrické vyhodnocení velikosti koutového svaru a

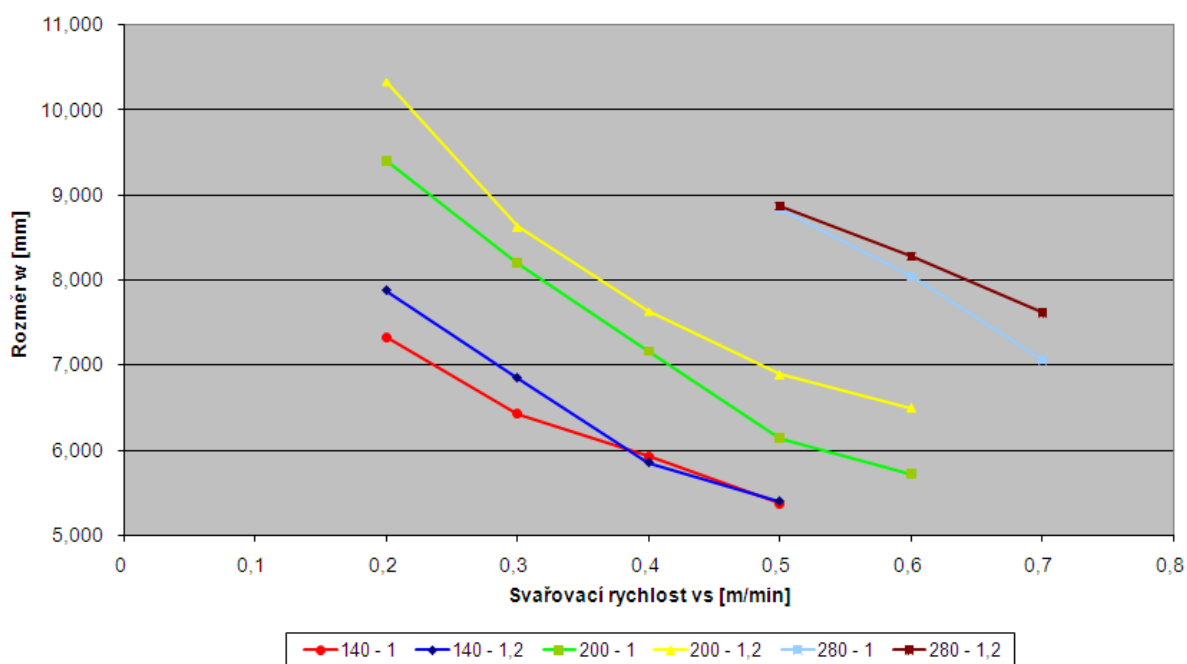
Svar	nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	průměr svařovacího drátu d [mm]	vnesené teplo Q [kJ]	P [%] vneseného tepla	rozměr a [mm]	P [%] rozměru a
S5c006	140	0,2	1,2	992,1	2,1	3,677	8,0
S5c099	140	0,2	1,0	1013,0		3,997	
S5c007	140	0,3	1,2	644,0	5,6	3,223	7,3
S5c100	140	0,3	1,0	682,0		3,476	
S5c008	140	0,4	1,2	475,2	4,4	2,963	0,5
S5c101	140	0,4	1,0	497,2		2,979	
S5c009	140	0,5	1,2	372,3	5,4	2,691	0,6
S5c102	140	0,5	1,0	393,4		2,675	
S5c085	200	0,2	1,2	1346,2	14,1	4,701	11,1
S5c091	200	0,2	1,0	1567,5		5,290	
S5c044	200	0,3	1,2	897,2	11,4	4,010	8,0
S5c090	200	0,3	1,0	1012,4		4,360	
S5c045	200	0,4	1,2	674,4	9,3	3,390	11,3
S5c092	200	0,4	1,0	743,3		3,820	
S5c046	200	0,5	1,2	529,8	10,6	2,934	15,0
S5c093	200	0,5	1,0	592,4		3,451	
S5c047	200	0,6	1,2	437,2	11,4	2,771	12,5
S5c094	200	0,6	1,0	493,2		3,166	
S5c074	280	0,5	1,2	986,7	17,6	4,349	2,7
S5c097	280	0,5	1,0	1198,0		4,470	
S5c075	280	0,6	1,2	824,6	18,3	3,989	3,2
S5c095	280	0,6	1,0	1008,9		4,120	
S5c076	280	0,7	1,2	708,7	18,4	3,388	11,1
S5c096	280	0,7	1,0	868,2		3,810	

Závislost velikosti koutového svaru a na svařovací rychlosti



Obr. 3.25. Závislost velikosti koutového svaru a na svařovací rychlosti

Závislost šířky koutového svaru w na svařovací rychlosti



Obr. 3.26. Závislost šířky svaru w na svařovací rychlosti

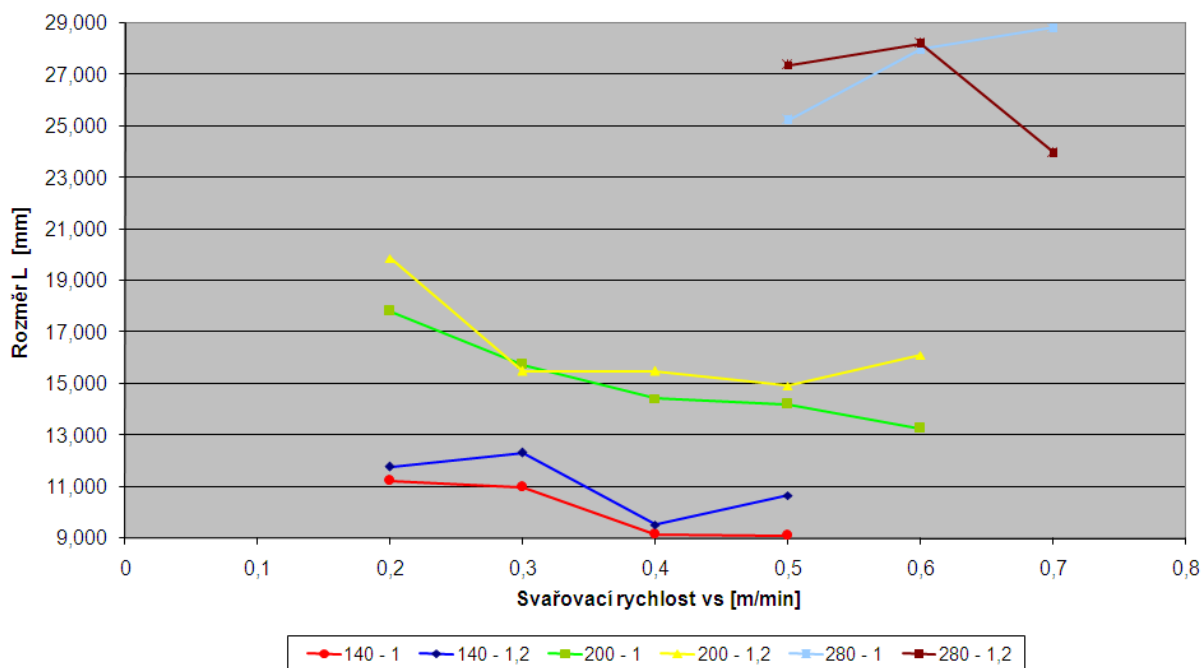
Tab. 3.9. Geometrické vyhodnocení šířky koutového svaru w

Svar	nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	průměr svařovacího drátu d [mm]	vnesené teplo Q [kJ]	P [%] vneseného tepla	rozměr w [mm]	P [%] rozměru w
S5c006	140	0,2	1,2	992,1	2,1	7,3	7,0
S5c099	140	0,2	1,0	1013,0		7,9	
S5c007	140	0,3	1,2	644,0	5,6	6,4	6,2
S5c100	140	0,3	1,0	682,0		6,9	
S5c008	140	0,4	1,2	475,2	4,4	5,9	1,3
S5c101	140	0,4	1,0	497,2		5,9	
S5c009	140	0,5	1,2	372,3	5,4	5,4	0,5
S5c102	140	0,5	1,0	393,4		5,4	
S5c085	200	0,2	1,2	1346,2	14,1	9,4	9,0
S5c091	200	0,2	1,0	1567,5		10,3	
S5c044	200	0,3	1,2	897,2	11,4	8,2	5,0
S5c090	200	0,3	1,0	1012,4		8,6	
S5c045	200	0,4	1,2	674,4	9,3	7,2	6,2
S5c092	200	0,4	1,0	743,3		7,6	
S5c046	200	0,5	1,2	529,8	10,6	6,1	10,8
S5c093	200	0,5	1,0	592,4		6,9	
S5c047	200	0,6	1,2	437,2	11,4	5,7	12,0
S5c094	200	0,6	1,0	493,2		6,5	
S5c074	280	0,5	1,2	986,7	17,6	8,8	0,4
S5c097	280	0,5	1,0	1198,0		8,9	
S5c075	280	0,6	1,2	824,6	18,3	8,0	2,8
S5c095	280	0,6	1,0	1008,9		8,3	
S5c076	280	0,7	1,2	708,7	18,4	7,1	7,4
S5c096	280	0,7	1,0	868,2		7,6	

Tab. 3.10. Geometrické vyhodnocení velikosti délky svaru L

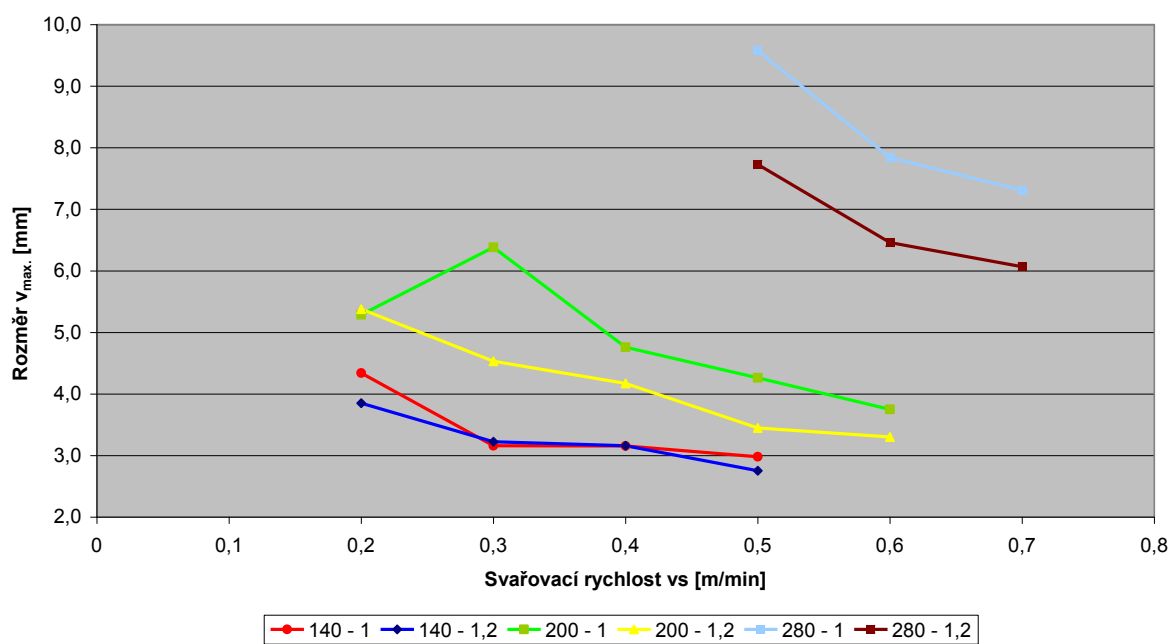
Svar	nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	průměr svařovacího drátu d [mm]	vnesené teplo Q [kJ]	P [%] vneseného tepla	rozměr L [mm]	P [%] rozměru L
S5c006	140	0,2	1,2	992,1	2,1	11,3	4,5
S5c099	140	0,2	1,0	1013,0		11,8	
S5c007	140	0,3	1,2	644,0	5,6	11,0	10,8
S5c100	140	0,3	1,0	682,0		12,3	
S5c008	140	0,4	1,2	475,2	4,4	9,2	4,0
S5c101	140	0,4	1,0	497,2		9,5	
S5c009	140	0,5	1,2	372,3	5,4	9,1	14,7
S5c102	140	0,5	1,0	393,4		10,7	
S5c085	200	0,2	1,2	1346,2	14,1	17,8	10,4
S5c091	200	0,2	1,0	1567,5		19,9	
S5c044	200	0,3	1,2	897,2	11,4	15,7	1,5
S5c090	200	0,3	1,0	1012,4		15,5	
S5c045	200	0,4	1,2	674,4	9,3	14,4	6,8
S5c092	200	0,4	1,0	743,3		15,5	
S5c046	200	0,5	1,2	529,8	10,6	14,2	4,8
S5c093	200	0,5	1,0	592,4		14,9	
S5c047	200	0,6	1,2	437,2	11,4	13,3	17,6
S5c094	200	0,6	1,0	493,2		16,1	
S5c074	280	0,5	1,2	986,7	17,6	25,3	7,7
S5c097	280	0,5	1,0	1198,0		27,4	
S5c075	280	0,6	1,2	824,6	18,3	28,0	0,8
S5c095	280	0,6	1,0	1008,9		28,2	
S5c076	280	0,7	1,2	708,7	18,4	28,8	20,3
S5c096	280	0,7	1,0	868,2		24,0	

Závislost délky svaru L na svařovací rychlosti



Obr. 3.27. Závislost délky svaru L na svařovací rychlosti

Závislost velikosti průvaru v_{max} na svařovací rychlosti



Obr. 3.28. Závislost velikosti průvaru v_{max} na svařovací rychlosti

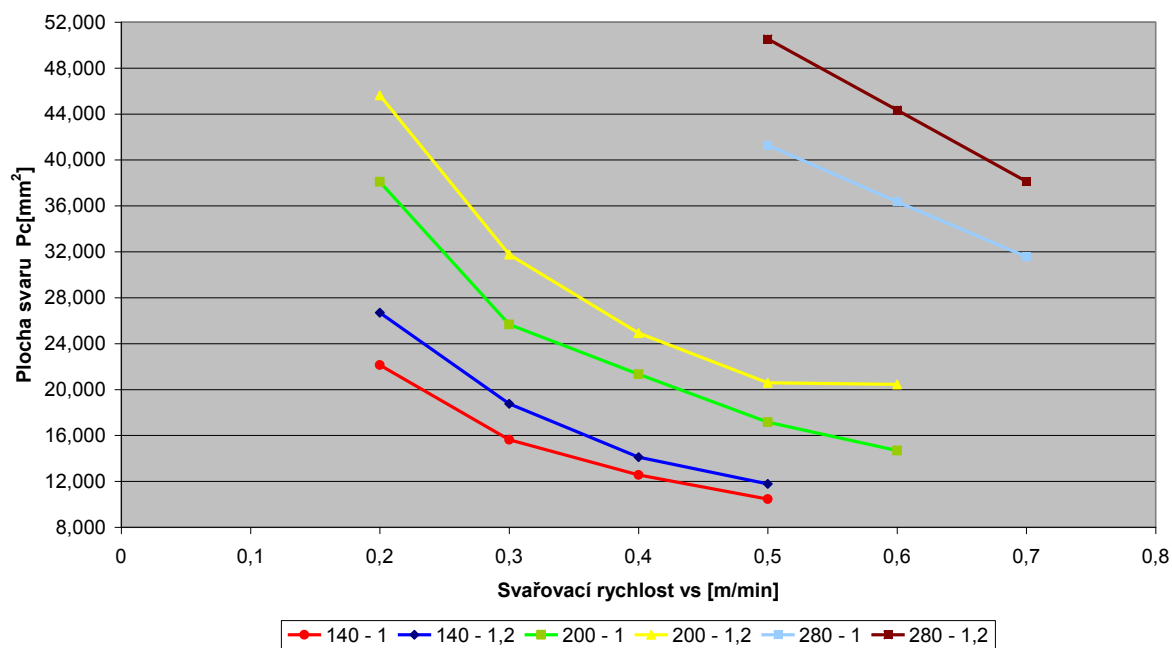
Tab. 3.11. Geometrické vyhodnocení velikosti průvaru svaru v_{\max}

Svar	nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	průměr svařovacího drátu d [mm]	vnesené teplo Q [kJ]	P [%] vneseného tepla	rozměr v_{\max} [mm]	P [%] rozměru v_{\max}
S5c006	140	0,2	1,2	992,1	2,1	3,9	11,2
S5c099	140	0,2	1,0	1013,0		4,3	
S5c007	140	0,3	1,2	644,0	5,6	3,2	2,1
S5c100	140	0,3	1,0	682,0		3,2	
S5c008	140	0,4	1,2	475,2	4,4	3,2	0,2
S5c101	140	0,4	1,0	497,2		3,2	
S5c009	140	0,5	1,2	372,3	5,4	2,8	7,6
S5c102	140	0,5	1,0	393,4		3,0	
S5c085	200	0,2	1,2	1346,2	14,1	5,4	1,7
S5c091	200	0,2	1,0	1567,5		5,3	
S5c044	200	0,3	1,2	897,2	11,4	4,5	29,0
S5c090	200	0,3	1,0	1012,4		6,4	
S5c045	200	0,4	1,2	674,4	9,3	4,2	12,3
S5c092	200	0,4	1,0	743,3		4,8	
S5c046	200	0,5	1,2	529,8	10,6	3,4	19,1
S5c093	200	0,5	1,0	592,4		4,3	
S5c047	200	0,6	1,2	437,2	11,4	3,3	11,9
S5c094	200	0,6	1,0	493,2		3,7	
S5c074	280	0,5	1,2	986,7	17,6	7,7	19,3
S5c097	280	0,5	1,0	1198,0		9,6	
S5c075	280	0,6	1,2	824,6	18,3	6,5	17,6
S5c095	280	0,6	1,0	1008,9		7,8	
S5c076	280	0,7	1,2	708,7	18,4	6,1	17,0
S5c096	280	0,7	1,0	868,2		7,3	

Tab. 3.12. Geometrické vyhodnocení velikosti celkové plochy svaru P_c

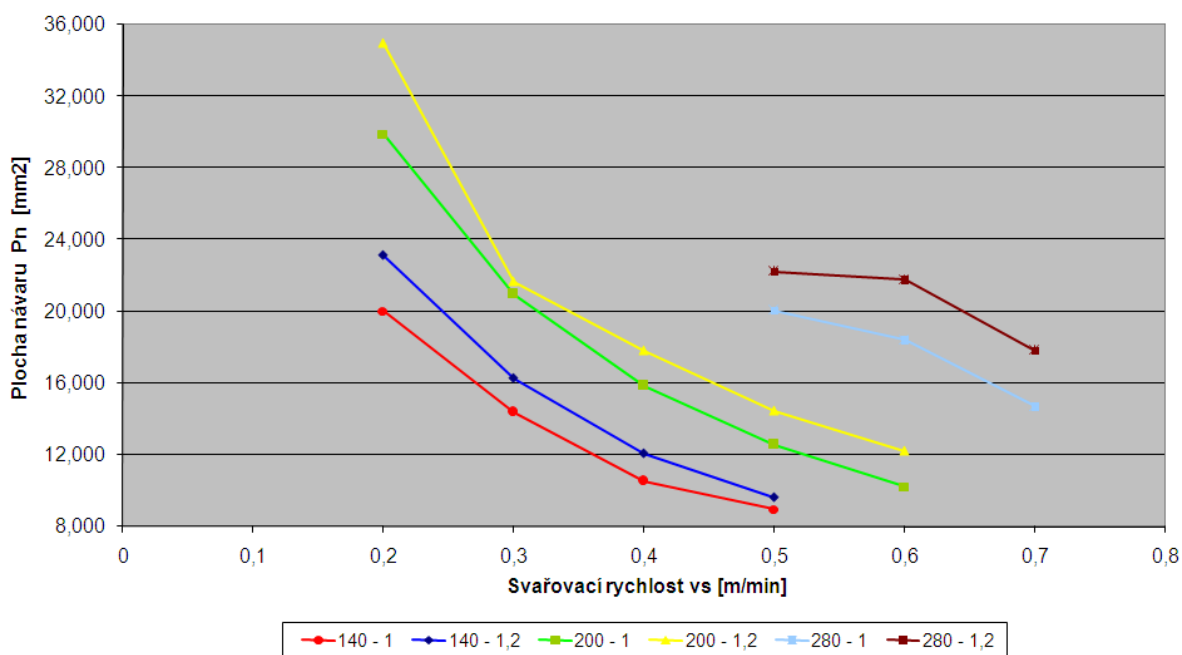
Svar	nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	průměr svařovacího drátu d [mm]	vnesené teplo Q [kJ]	P [%] vneseného tepla	celková plocha svaru P_c [mm ²]	P [%] rozměru P_c
S5c006	140	0,2	1,2	992,1	2,1	22,1	17,1
S5c099	140	0,2	1,0	1013,0		26,7	
S5c007	140	0,3	1,2	644,0	5,6	15,6	16,7
S5c100	140	0,3	1,0	682,0		18,8	
S5c008	140	0,4	1,2	475,2	4,4	12,6	10,9
S5c101	140	0,4	1,0	497,2		14,1	
S5c009	140	0,5	1,2	372,3	5,4	10,5	11,2
S5c102	140	0,5	1,0	393,4		11,8	
S5c085	200	0,2	1,2	1346,2	14,1	38,1	16,5
S5c091	200	0,2	1,0	1567,5		45,6	
S5c044	200	0,3	1,2	897,2	11,4	25,7	19,2
S5c090	200	0,3	1,0	1012,4		31,8	
S5c045	200	0,4	1,2	674,4	9,3	21,3	14,4
S5c092	200	0,4	1,0	743,3		24,9	
S5c046	200	0,5	1,2	529,8	10,6	17,2	16,7
S5c093	200	0,5	1,0	592,4		20,6	
S5c047	200	0,6	1,2	437,2	11,4	14,7	28,2
S5c094	200	0,6	1,0	493,2		20,5	
S5c074	280	0,5	1,2	986,7	17,6	41,3	18,3
S5c097	280	0,5	1,0	1198,0		50,5	
S5c075	280	0,6	1,2	824,6	18,3	36,4	18,0
S5c095	280	0,6	1,0	1008,9		44,3	
S5c076	280	0,7	1,2	708,7	18,4	31,6	17,2
S5c096	280	0,7	1,0	868,2		38,1	

Závislost celkové plochy svaru P_c na svařovací rychlosti



Obr. 3.29. Závislost celkové plochy P_c na svařovací rychlosti

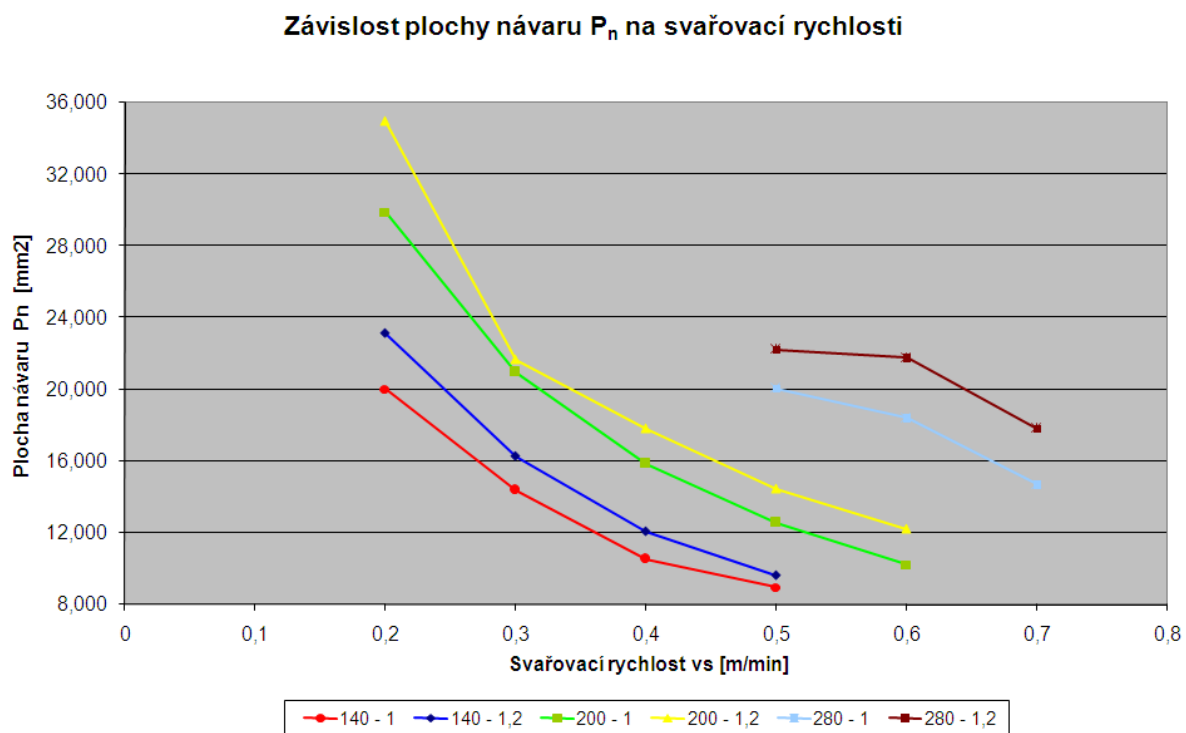
Závislost plochy návaru P_n na svařovací rychlosti



Obr. 3.30. Závislost plochy návaru P_n na svařovací rychlosti

Tab. 3.13. Geometrické vyhodnocení velikosti návaru $P_n + P_\Delta$.

Svar	nastavený svařovací proud [A]	nastavená svařovací rychlost [m/min]	průměr svařovacího drátu d [mm]	vnesené teplo Q [kJ]	P [%] vneseného tepla	plocha návaru $P_n + P_\Delta$ [mm ²]	P [%] rozměru $P_n + P_\Delta$.
S5c006	140	0,2	1,2	992,1	2,1	20,0	13,5
S5c099	140	0,2	1,0	1013,0		23,1	
S5c007	140	0,3	1,2	644,0	5,6	14,4	11,5
S5c100	140	0,3	1,0	682,0		16,3	
S5c008	140	0,4	1,2	475,2	4,4	10,5	12,8
S5c101	140	0,4	1,0	497,2		12,1	
S5c009	140	0,5	1,2	372,3	5,4	9,0	6,8
S5c102	140	0,5	1,0	393,4		9,6	
S5c085	200	0,2	1,2	1346,2	14,1	29,9	14,5
S5c091	200	0,2	1,0	1567,5		35,0	
S5c044	200	0,3	1,2	897,2	11,4	21,0	3,2
S5c090	200	0,3	1,0	1012,4		21,7	
S5c045	200	0,4	1,2	674,4	9,3	15,9	11,0
S5c092	200	0,4	1,0	743,3		17,8	
S5c046	200	0,5	1,2	529,8	10,6	12,6	13,2
S5c093	200	0,5	1,0	592,4		14,5	
S5c047	200	0,6	1,2	437,2	11,4	10,2	16,4
S5c094	200	0,6	1,0	493,2		12,2	
S5c074	280	0,5	1,2	986,7	17,6	20,0	9,8
S5c097	280	0,5	1,0	1198,0		22,2	
S5c075	280	0,6	1,2	824,6	18,3	18,4	15,4
S5c095	280	0,6	1,0	1008,9		21,8	
S5c076	280	0,7	1,2	708,7	18,4	14,7	17,5
S5c096	280	0,7	1,0	868,2		17,8	



Obr. 3.30. Závislost plochy návaru P_n na svařovací rychlosti

4 ZÁVĚR

Na svařování je možno pohlížet jako na matematickou úlohu s mnoha proměnnými, ale pouze s jednou neznámou a tou je tvar svarové lázně. Je sice možné, na základě zkušeností s určitou pravděpodobnostní přesností tento tvar předpokládat, ale výsledek musí být vždy experimentálně potvrzen.

Největším úskalím při predikci svarové lázně je fakt, že veškeré veličiny mající vliv na výslednou svarovou geometrii jsou mezi sebou propojeny a ovlivňují se navzájem. Proto počet experimentů potřebný pro dokonalé prozkoumání všech závislostí roste geometrickou řadou.

Cílem této bakalářské práce proto bylo zjistit, zda je možné při použití různých průměrů svařovacího drátu, při stejně nastavených technologických parametrech na svařovacím zdroji stanovit obecné závislosti pro predikci svarové lázně. To znamená, zda je možné stanovit geometrii svarové lázně pro jiné průměry drátu, při stejných parametrech svařování na základě jedné experimentálně provedené pracovní zkoušky.

Z experimentální části této práce je zřejmé, že predikce svarové lázně, pro různé průměry svařovacího drátu, s dostatečnou přesností je možná pouze částečně. Například velikost koutového svaru α je možné predikovat s minimální přesností 85% a u šířky koutového svaru w dokonce s přesností 88%. Naopak u veličin jako je celkový průvar svaru v_{\max} je predikce zcela nemožná. Rozdíly zde činili až 29%. Tento rozdíl je způsoben různou intenzitou tavení u rozdílných průměrů svařovacího drátu. U menšího průměru drátu dochází k intenzivnějšímu tavení materiálu, což je doloženo vyšší podávací rychlostí drátu. Vyšší rychlost podávání drátu způsobuje změnu směru a rychlosti proudění ve svarové lázni, což má za následek hlubší průvar.

Tento vliv je zřetelně vidět i na hodnotě tepla vneseného na jednotku délky. Bylo by jistě zajímavé porovnat geometrii svarů zhotovených různými průměry svařovacího drátu, při stejné rychlosti svařování a stejné hodnotě vneseného tepla na jednotku délky. To však již bude úkolem dalších prací.

Tato práce vznikla za podpory grantového projektu GAČR 101/09/P176.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] M.HLUCHÝ, J. KOLOUCH, R. PAŇÁK: Strojírenská technologie 2
Praha 2001
- [2] ERNEST SAMEK: Zváracie zdroje. oblúkové zvaračky, Bratislava 1967
- [3] E.SAMEK, R.STRINKA: Zváranie v ochrannej atmosfére taviacou sa elektrodou,
Praha 1982
- [4] JOSEF KUNCIPÁL a kol.: Teorie Svařování, Praha 1986
Josef Kuncipál a kol.
- [5] J. KUNCIPÁL, V.PILOUS, J. DUNOVSKÝ: Nové technologie ve svařování.....
Praha 1984
- [6] VLADIMÍR KADLEC, BOHUMIL ŤOPEK: Svařování v ochranných atmosférách
Pardubice 1989
- [7] RÓBERT KOPŘIVA: Technológia zvarania v ochranných plynoch metódou
MIG-MAG
Ostrava 1993
- [8] KOLEKTIV AUTOROV: Zváracie metódy a zariadenia, Ostrava 2000
- [9] http://www.electric.cz/weldmonitor_cz.htm
- [10] http://homen.vsb.cz/~hla80/Vyuka/WeldMonitor_final.pdf
- [11] <http://www.tdsbrnosms.cz/dokumenty/inspekce/weld-monitor-snimani-parametru-svarovani.pdf>
- [12] <http://www.vossost.cz/pk/Data/PDF/Kurz%20MIG%20MAG.pdf>],
- [13] <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2009050601>
- [14] DRÁPELA P.:Vliv vybraných parametrů na geometrii svaru u MAG
Procesu svařování.
[Diplomová práce]. FS-TU v Libreci 2008
- [15] http://homen.vsb.cz/~hla80/Vyuka/2008_Technologie1.pdf

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 28.5.2010

Podpis:

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 28.5.2010

Signature: